

Kehittämistutkimus: Tutkimuksellisen kokeellisuuden ja mallinnuksen yhdistäminen veden kemian opetuksessa

Hilla Saarela
Pro gradu –tutkielma
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kemian laitos
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto
5/2016
Ohjaajat:
Maija Aksela
Timo Repo

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department kemian laitos
Tekijä – Författare – Author Hilla Saarela		
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Tutkimuksellisen kokeellisuuden ja mallinnuksen yhdistäminen veden kemian opetuksessa		
Oppiaine – Läroämne – Subject Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)		
Työn laji – Arbetets art – Level pro gradu -tutkielma	Aika – Datum – Month and year 05/2016	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 77+62
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Kokeellisella työllä on pitkään ollut tärkeä rooli kemian opetuksessa. Toisaalta monia luonnontieteiden ilmiöitä on mahdollista havainnollistaa vain malleilla. Tieto- ja viestintekniikan käytön lisääntyessä opetuksessa sitä on yhdistetty kokeellisuuteen, mikä mahdollistaa esimerkiksi molekyylihallinnus-ohjelmien käytön kokeellisuuden yhteydessä.</p> <p>Tässä kehittämistutkimuksessa kehitettiin lukiotasoisesta "Mitä piilee talousvedessä?" -työohjeesta uusi tutkimuksellinen versio ja sen oheen tutkimuksellinen tietokoneavusteinen molekyylihallinnus. Työ jakautuu 1) teoreettiseen ongelma-analyysiin 2) empiiriseen ongelma-analyysiin eli analyysiin lukion oppikirjoista 3) työohjeiden kehittämiseen 4) työohjeiden arviointiin ja 5) työohjeiden jatkokehittämiseen.</p> <p>Empiirisen ongelma-analyysin tavoitteena oli kartoittaa, miten vettä käsitellään lukion kemian oppikirjoissa. Teoreettisen ja empiirisen ongelma-analyysin pohjalta kehitettiin työohjeista ensimmäiset versiot, joita testasivat kemianluokka Gadolinissa vierailulla olleet lukiolaiset. Testauksessa tehtyjen havaintojen ja lukiolaisten täyttämien kyselylomakkeiden pohjalta kokeellisen työn ohjeesta kehitettiin uusi versio ja mallinnuksen ohjetta parannettiin.</p> <p>Empiirisessä ongelma-analyysissä analysoitiin neljän lukion oppikirjasarjan 1. ja 2. kurssien oppikirjoja. Vesi liittyy moniin lukion 1. ja 2. kurssien sisältöihin, mutta kuinka paljon veteen keskitytään riippuu kirjasarjasta. Vettä käsitellään lähinnä kemiallisena yhdisteenä ja maininnat talousvedestä tai vedestä luonnonvarana ovat lyhyitä tai lisätietoa. Kehitetyissä työohjeissa vettä käsitellään sekä talousvetenä että kemiallisena aineena.</p> <p>Kokeellisessa työssä opiskelijat mittaavat vesinäytteistä anionipitoisuuksia ionikromatografilla ja tutkivat veden aistinvaraisesti havaittavia ominaisuuksia. Mallinnuksessa mallinnetaan veden vetysidoksia sekä ionien ja vesimolekyylien vuorovaikutusta. Molempiin työohjeisiin luotiin lyhyt tutkimuksellinen oppimissykli. Talousveteen keskittyvä kokeellinen työ tuo esiin aihealueita, jotka jäävät kemian oppikirjoissa syrjään, kun taas mallinnuksen sisällöt liittyvät lukion opetussuunnitelman keskeisiin sisältöihin.</p> <p>Kokeellisesta työstä kerättiin palautetta 31 opiskelijalta ja mallinnuksesta 15 opiskelijalta. Opiskelijoiden vastausten perusteella töistä opittiin, että talousvedessä on muitakin aineita kuin vettä, sekä erotusmenetelmistä, ioneista ja sidoksista. Toisaalta lähes puolet opiskelijoista koki, ettei kerrannut tai syventänyt merkittävästi aikaisempia kemian sisältöjä. Enemmistö opiskelijoista piti opiskelutavasta, mutta tutkimuksen perusteella ei voi sanoa tarkemmin, mistä siinä pidettiin.</p> <p>Työohjeiden jatkokehittämisessä kokeellisesta työstä tehtiin testauksessa käytettyyn työpistetyöskentelyyn suunnattu versio. Uusi versio on myös avoimempi tarkoituksena saada opiskelijat tutustumaan taustatietoihin ja opiskelijoiden johtopäätösten teko, jossa käsitellään myös syntyneet virhekesitykset, tapahtuu aikaisemmin, jotta se ehditään käsitellä kokonaan vaikka ajan vähyys olisi ongelma. Mallinnus toimi havaintojen perusteella hyvin ja opiskelijat kokivat ohjelman käytön pääosin helpoksi, joten ohjeen toiseen versioon tehtiin vain tarkennuksia ohjelman käyttöön liittyen.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords molekyylihallinnus - kokeellinen työskentely - tutkimuksellinen oppiminen - veden kemia - talousvesi		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited e-thesis		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Maija Aksela ja Timo Repo		

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Kehittämistutkimus	2
2.1 Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä	2
2.2 Tutkimuskohde ja tutkimuskysymykset.....	4
2.3 Kehittämistutkimuksen toteutus	4
3 Teoreettinen ongelma-analyysi	5
3.1 Tutkimuksellinen oppiminen	5
3.2 Molekyylimallinnus	8
3.3 Kokeellisuus kemian opetuksessa	12
3.3.1 Eri opetusmenetelmien vertailua kokeellisten töiden suhteen.....	15
3.3.2 Tieto- ja viestintätekniikan käyttö kokeellisuuden yhteydessä	16
3.4 Veden kemiaa.....	17
3.5 Teoreettisen ongelma-analyysin yhteenveto	18
4 Kehittämisprosessi	19
4.1 Empiirinen ongelma-analyysi: Oppikirja-analyysi	19
4.2 Oppikirja-analyysin tulokset	20
4.3 Oppikirja-analyysin johtopäätökset	22
4.4 Kehittämistuotoksen teko	23
4.4.1 Lähtötilanne	23
4.4.2 Työohjeiden kehittäminen	24
4.5 Ensimmäinen kehittämistuotos	25
4.5.1 Töiden oppimistavoitteet	25
4.5.2 Kokeellinen työ.....	26
4.5.3 Mallinnus	27
4.5.4 Kehittämistuotoksen sisältöjen suhde lukion opetussuunnitelman.....	30
5 Empiirinen ongelma-analyysi 2: 1. Kehittämistuotoksen arviointi.....	31
5.1 Kysely tutkimusmenetelmänä	31
5.2 Havainnointi tutkimusmenetelmänä.....	31
5.3 Kysymyslomake	32
5.4 Työohjeen testaaminen.....	32
5.4.1 1. testikerta	33
5.4.2 2. testikerta	33
5.5 Vastaajat.....	34
5.6 Vastausten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät	35

5.7 Kysymyslomakkeiden analysointi	36
5.8 Mitä opiskelijat kokivat oppineensa.....	37
5.9 Opiskelijoiden mielipiteet opiskelutavasta.....	43
5.10 Töiden toimivuus	46
5.10.1 Kokeellinen työ.....	46
5.10.2 Mallinnus	48
5.11 Havaitut opiskelijoiden virhekäsitykset	52
5.12 Kokeellisen työn ja mallinnuksen oppimistavoitteiden täyttyminen	53
5.13 Yhteenveto ensimmäisen kehittämistuotoksen arvioinnista.....	55
6 Toinen kehittämistuotos	56
6.1 Ensimmäisen kehittämistuotoksen jatkokehittäminen	56
6.2 Kokeellinen työ	57
6.3 Mallinnus	59
7 Johtopäätökset ja pohdinta	63
7.1 Veden kemian opetus	63
7.2 Työtavat ja oppimistulokset	63
7.3 Tutkimuksen merkitys ja tulevaisuuden mahdollisuudet	67
8 Lähteet.....	69
9 Liitteet	78
Liite 1: Tutkitut oppikirjat.....	78
Liite 2: Kaikki taulukoidut maininnat vedestä analysoiduissa oppikirjoissa	79
Liite 3: Lista aiheista, joihin vesi liittyy analysoiduissa oppikirjoissa.....	86
Liite 4: Kysymyslomake	88
Liite 5: Ensimmäinen kehittämistuotos: oppilaan ja opettajan ohjeet.....	91
Liite 6: Toinen kehittämistuotos: oppilaan ja opettajan ohjeet	114

Lista käytetyistä lyhenteistä:

OPH = Opetushallitus

NCR= National Research Council

1 Johdanto

Tämä tutkimus on kehittämistutkimus, jonka tavoitteena on kehittää ionikromatografiaa hyödyntävän kokeellisen työn lisäksi tietokoneavusteinen aktiviteetti, joksi valikoitui tutkimuksellinen tietokoneella tehtävä molekyylihallinnus ja sekä uusi versio kokeellisen työn ohjeesta. Mallinnuksen ja kokeellisen työn yhteisenä tekijänä on vesi.

Moderniin kemian opetukseen tulisi saavutusten tehostamiseksi liittää tutkimuksellisia lähestymistapoja kokeellisen työn, yhteistoiminnallisen oppimisen ja tieto- ja viestintäteknikan hyödyntämisen kautta (Eilks & Hofstein, 2013). Tutkimuksessa pyritään rakentamaan tutkimuksellisesta kokeellisesta työstä ja tutkimuksellisesta tietokoneavusteisesta molekyylihallinnuksessa yhdessä toimiva kokonaisuus, joka auttaa opiskelijoita kertaamaan ja laajentamaan tietojaan vedestä.

Tieto- ja viestintäteknikan rooli kemian opetuksessa on kasvanut 1980-luvulta asti (Dori, Rodrigues & Schanze, 2013). Teknologiaa ja tieto- ja viestintäteknikkaa on myös yhdistetty perinteisesti kemian opetuksessa käytettyyn kokeelliseen työskentelyyn. Tässä tutkimuksessa automatisoitua mittausta edustaa kokeellisessa työssä käytettävä ionikromatografia ja tietotekniikkaa molekyylihallinnusohjelma, jonka avulla toisessa aktiviteetissa opiskellaan veden kemiaa. Tieto- ja viestintäteknikan monipuolista käyttöä korostetaan nykyisessä ja tulevassa opetussuunnitelmassa (OPH, 2003; 2015).

Tutkimuksellinen oppiminen on ollut 2000-luvun aikana tärkeä teema luonnontieteiden opetuksessa sekä Suomessa että muualla maailmassa (Herranen, Tuomisto & Aksela, 2015). Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen, Walberg-Henriksson ja Hemmo suosittelivat 2005 tutkimuksellisen opiskelun käytön tukemista ja edistämistä Euroopassa. Tutkimuksellinen opetus kehittää opiskelijoiden ymmärrystä luonnontieteen käsitteistä ja prosesseista (Minner, Levy & Century, 2009). Tutkimuksellisella oppimisella pyritään esimerkiksi aktiiviseen oppimiseen, parantamaan opiskelijoiden ymmärrystä luonnontieteellisestä prosessista, päästämään opiskelijat tutkijan asemaan ja kehittämään opiskelijoiden taitoja johtopäätösten tekoon.

Monia kemian ilmiöitä voi kuvata vain mallien avulla. Molekyylihallinnusohjelmat alkoivat kehittyä 1960-luvulla (Kozma & Russell, 2005). Mallien ja mallinnuksen arvo tunnustettiin 1990-luvulla kasvavassa määrin. Vielä 2000-luvun alussa mallinnuksen avulla oppimisesta ei kuitenkaan ollut juurikaan teoretietoa. (Gobert & Buckley, 2000)

Lukion kemian opetussuunnitelmassa asetetaan tavoitteeksi, että opiskelija tutustuu tietojen ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin mallintamisen välineinä sekä oppii tutkimaan eri kemian ilmiöitä kokeellisesti ja malleja käyttäen. (OPH, 2003; 2015).

Työohjeiden yhteisenä tekijänä on vesi, joka on ihmisille elintärkeää ja jolla voi havainnollistaa monia kemian ilmiöitä. Vettä ja veden kemiaa ei kuitenkaan välttämättä käsitellä kootusti lukion kemiassa tai veden käsittely keskittyä vain veden ominaisuuksiin. Kokeellisessa työssä huomio kiinnittyy talousveteen ja siihen, että opiskelijoiden arjessa kohtaama vesi on oikeastaan seos ja mallinnuksessa keskitytään enemmän veden ja ionien käyttäytymiseen mikrotasolla. Talousveden avulla luodaan myös yhteys arkielämään.

2 Kehittämistutkimus

2.1 Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä

Tässä tutkielmassa käytetään tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimusta (design research tai design based research). Kehittämistutkimus on melko nuori tutkimusmenetelmä, joka on muotoutunut halusta kehittää opetusta tutkimuspohjaisesti todellisista opetustilanteissa nousevien tarpeiden mukaisesti ja vastaamaan kritiikkiin, jonka mukaan tutkijat eivät pystyneet tuottamaan kentällä toimivien opettajien työtä tukevaa käytännön tietoa. (Pernaa, 2013a)

Kehittämistutkimuksen tuotteena syntyy sekä käytännön tarpeeseen kehitetty konkreettinen kehittämistuotos, joka voi olla esimerkiksi kurssi tai verkkosivusto, että teoriaa kehitetyn tuotoksen ja kehittämisprosessin olemuksesta (Pernaa, 2013b). Kehittämistutkimuksen erityispiirre on se, että kehittämistyötä ja tutkimusta ei eroteta toisistaan, vaan kehittämistyö nähdään tutkijalle mahdollisuutena edistää ymmärrystään opetuksesta, oppimisesta ja koulutusjärjestelmästä (Edelson, 2002).

Edelsonin (2002) mukaan kehittämistutkimuksessa tehdään kolmentyyppisiä päätöksiä: päätöksiä kehittämisprosessin etenemisestä, kehittämisen tarpeista ja mahdollisuuksista sekä kehittämistuotoksen muodosta. Päätökset eri asioista voivat tapahtua erilaisissa järjestyksissä tai yhtä aikaa, eivätkä ne välttämättä ole tietoisia (Edelson, 2002).

Kehittämistutkimus alkaa ongelma-analyysillä, jonka tarkoituksena on selvittää kehittämisen tarpeet, mahdollisuudet ja haasteet (Edelson, 2002). Se voi olla teoreettinen,

empiirinen tai yhdistelmä molempia ja koostua esimerkiksi tarveanalyysistä, testaamisesta tai arvioinnista (Pernaa, 2013a).

Kehittämisosessissa kehitetään joukko prosesseja vastaamaan kyseessä olevan tutkimuksen kehittämishaasteisiin ja kontekstiin, jossa se toteutetaan. Osessien täytyy vastata suunnittelun ja valmistelun, kehityksen, toimeenpanon ja arvioinnin sekä tarkistuksen ja jalostuksen tarpeisiin. Kehityksen päämäärät ja rajoitteet määrittävät siinä tarvittavat osessit ja asiantuntemuksen. (Edelson, 2002)

Kehittämistuotos on kehittämistutkimuksen tulos. Se syntyy kehittäjän pyrkimyksistä vastata haasteisiin, huomioida rajoitukset, hyödyntää mahdollisuudet ja tasapainottaa valinnat, jotka identifioitiin ongelma-analyysissä. Kehittämistuotos kehittyy kehittämisosessin ajan, kun tutkijan ymmärrys aiheesta syvenee. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimus etenee sykleissä, joissa tuotosta kehitetään, arvioidaan ja jatkokehitetään ja teoreettisesti ja kokeellisesti saatu tieto vuorovaikuttavat keskenään. Kehittämissykli koostuu kehittämis-, arviointi- ja raportointivaiheista. (Edelson, 2002; Pernaa, 2013a) Kehittämistutkimuksen prosessi on joustava ja dynaaminen, eikä menetelmää voi usein kuvailla ennen kuin prosessi on saatettu loppuun (Edelson, 2002).

Kehittämistutkimuksen osioista saadaan erilaista tietoa. Ongelma-analyysi tuottaa kontekstisidonnaista tietoa ja teoriaa. Kehittämisosessista saadaan tietoa kehittämistutkimuksesta ja sen vaiheista. Kehittämistuotos tuottaa kontekstisidonnaisia malleja ja tietoa mallin toimivuudesta. (Edelson, 2002)

Eräs kritiikinaihe kehittämistutkimukseen liittyen on sen luotettavuus suhteessa perinteiseen empiiriseen tutkimukseen, sillä kehittämistutkimuksen otosjoukko on usein pieni, eivätkä tulokset ole siten samalla lailla tilastollisesti määriteltyjä (Edelson, 2002). Edelson (2002) vastaa tähän, että kehittämistutkimuksen tarkoituksena on luoda uusia, käyttökelpoisia teorioita ja sen vahvuus on tulosten selitysvoimassa, ei tilastollisessa otannassa, joten sitä ei tulisi arvioida samoilla kriteereillä. Kehittämistutkimus on pätevä siinä määrin kuin se on sisäisesti johdonmukainen ja vastaa kehittämis- ja arviointivaiheiden aikana esiin nousseisiin ongelmiin (Edelson, 2002).

Kehittämistutkimuksen luotettavuutta voi parantaa triangulaatiolla (Pernaa, 2013a). Triangulaatiolla tarkoitetaan erilaisten metodien, tutkijoiden, tietolähteiden tai teorioiden yhdistämistä tutkimuksessa (Tuomi & Sarajärvi, 2009 s.143). Metodisessa triangulaatiossa

aineistoa analysoidaan samanaikaisesti useilla metodeilla, esimerkiksi sekä laadullisilla että määrällisillä menetelmillä (Pernaa, 2013a; Tuomi & Sarajärvi, 2009). Aineistoon kohdistuvassa triangulaatiossa samaa asiaa pyritään tutkimaan erilaisten aineistojen avulla, esimerkiksi kyselyillä, havainnoimalla, kehittämistuotoksilla ja kehittämiskuvauksilla (Pernaa, 2013a).

2.2 Tutkimuskohde ja tutkimuskysymykset

Kehittämistutkimuksen tarkoituksena on kehittää tutkimuksellinen tietokoneella toteutettava molekyylihallinnus kemianluokka Gadolinin kokeelliseen työhön ”Mitä piilee talousvedessä?” sekä uusi versio kokeellisen työn ohjeesta. Kokeellisen työn ja mallinnuksen yhdistävä tekijä on vesi ja työt ovat lukiotasoisia.

Työtä ohjaavat tutkimuskysymykset ovat:

- Miten vettä käsitellään lukion oppikirjoissa?
- Miten ”Mitä piilee talousvedessä?” -työohjetta voisi parantaa tutkimuksellisen oppimisen ja molekyylihallinnuksen avulla?
- Mitä opiskelijat kokivat oppivansa työstä?

2.3 Kehittämistutkimuksen toteutus

Kehittämistutkimuksessa toteutettiin kaksi tutkimussykliä. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen on vastattu empiirisen ongelma-analyysin avulla. Empiirinen ongelma-analyysi on suoritettu lukion 1. ja 2. kurssien oppikirjojen analyysinä.

Toiseen tutkimuskysymykseen etsittiin vastauksia teoreettisesta ongelma-analyysistä. Teoreettinen ongelma-analyysi on suoritettu tutustumalla kirjallisuuteen. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin tutkimukselliseen oppimiseen sekä tietokoneiden käyttöön, mallinnukseen ja kokeellisuuteen luonnontieteiden opetuksessa. Lisäksi käsiteltiin veden kemiaa.

Empiirisen ja teoreettiseen ongelma-analyysin pohjalta ”Mitä piilee talousvedessä?” – työohjeesta kehitettiin uusi versio ja sitä tukemaan kehitettiin tietokoneella tehtävä molekyylihallinnus. Lisäksi kehitettiin kysymyslomake opiskelijoille vastaamaan kolmanteen tutkimuskysymykseen.

Työohjeita testattiin teettämällä ne opiskelijoilla ohjaajien valvonnassa. Tietoja kolmannesta tutkimuskysymyksestä kerättiin kysymyslomakkeilla, jotka opiskelijat täyttivät tehtyään työt. Tietoja työohjeiden toimivuudesta kerättiin kysymyslomakkeilla, havainnoimalla töiden tekemistä ja ohjaajilta saaduista kommenteista.

Toista tutkimussykliä ohjasi työohjeiden testaamisessa ja kysymyslomakkeista saatu tieto työohjeiden toimivuudesta, opiskelijoiden oppimisesta ja työn synnyttämistä virhekesityksistä, joiden pohjalta kokeelliseen työhön kehitettiin uusi työohje ja mallinnuksen ohjetta parannettiin.

3 Teoreettinen ongelma-analyysi

3.1 Tutkimuksellinen oppiminen

Tutkimuksellinen oppiminen (englanniksi inquiry based learning, käytetään myös termejä inquiry based instruction ja inquiry learning) pohjautuu konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen, joka syntyi oppimisen ja opetuksen luonnetta ja erityisesti Piaget'n, Vygotskin ja Ausubelin käsityksiä koskevasta dialogista (Minner et al., 2009). Konstruktivistisessa lähestymistavassa oppiminen on tiedon rakentamista. Opiskelija on aktiivinen toimija, joka pyrkii rakentamaan yhtenäistä ja organisoitua tietoa ja valikoi informaation joukosta oleellisen tiedon ja yhdistää uuden tiedon aikaisempaan tietoon. (Mayer, 2004)

Tutkimuksellisuus on liitetty koulutyössä monenlaisiin älyllisiin aktiviteetteihin, kuten esimerkiksi hypoteesien testaukseen, käytännön ongelmanratkaisuun, mallinnukseen ja sokraattiseen dialogiin (Windschitl, 2003). Tutkimuksellinen oppiminen luonnontieteissä sisältää usein kokeellista työtä tapana motivoida ja sitouttaa opiskelijoita konkretisoiden luonnontieteiden käsitteitä (Minner et al., 2009).

Tutkimuksellinen opiskelu sallii opiskelijoiden asettua luonnontieteilijöiden asemaan keräämään tietoa maailmasta (Keselman, 2003). On kuitenkin huomattava, ettei ole olemassa yhtä ”tieteellistä metodologiaa”, joten tutkimuksellisen opiskelun esittäminen vain yhtä metodologiaa käyttäen ei vastaa todellisuutta (Windschitl, 2003). On myös kiinnitettävä huomiota siihen, minkälaisen kuvan tutkimukselliset aktiviteetit antavat luonnontieteiden luonteesta (Rudolph, 2005).

Tutkimuksellisen opiskelun vaiheille on olemassa erilaisia syklejä. Tutkijat kuitenkin huomauttavat yleensä, että tutkimuksellinen opiskelu ei ole määrätty, yhtenäinen ja suoraviivainen prosessi ja yhteys vaiheiden välillä saattaa vaihdella kontekstista riippuen. (Pedaste, Mäeots, Siiman, de Jong, van Riesen, Kamp, Manoli, Zacharia & Tsourlidaki, 2015) Pedaste et al. (2015) analysoivat useita syklejä ja kokosivat niistä tutkimukselliselle opiskelulle seuraavat vaiheet: orientaatio, käsitteellistäminen, tutkimus, johtopäätökset, pohdinta ja mahdolliset tulevaisuuteen suuntautuneet vaiheet.

Näistä orientaatio keskittyy stimuloimaan kiinnostusta ja uteliaisuutta käsillä olevaa ongelmaa kohtaan. Käsitteellistäminen, jonka voi jakaa alavaiheisiin kysymysten esittäminen ja hypoteesien kehittäminen, on prosessi, jossa ymmärretään ongelmaan liittyvät käsitteet. Tutkimusvaiheessa suunnitellaan tutkimus tai koe ja kerätään ja analysoidaan tietoa tutkimussuunnitelman tai koejärjestelyn pohjalta. Sen alavaiheita ovat tutkimuskysymyksiin perustuva tutkiminen, hypoteesia testaavat kokeet ja tiedon tulkinta. Johtopäätöksissä kerätyistä tiedoista tehdään päätelmiä ja verrataan niitä hypoteesiin tai tutkimuskysymyksiin. Pohdinnan voi jakaa alavaiheisiin tulosten esittäminen ja reflektio, joista voidaan käyttää vain toista tai molempia. (Pedaste et al., 2015)

Yhdysvaltain National Research Council (2000) antaa tutkimukselliselle oppimiselle viisi piirrettä: 1. oppijat ovat sitoutuneet tieteellisesti suuntautuneisiin kysymyksiin; 2. oppijat pitävät todisteita merkittävänä, mikä sallii heidän kehittää ja arvioida vastauksia kysymyksiin; 3. oppijat muodostavat todisteiden pohjalta selityksiä vastataksaan kysymyksiin; 4. oppijat arvioivat selityksiään, erityisesti tieteellistä ymmärrystä kuvaavia, vaihtoehtoisten selitysten avulla ja 5. selittävät ja perustelevat ehdottamansa selityksen. (s. 25)

Se, miten ohjattua tai avointa opetus on, voi kuitenkin vaihdella jokaisen piirteen kohdalla. Esimerkiksi selityksen muodostaminen todisteiden pohjalta voi tapahtua niin, että oppijalle annetaan todisteet ja ohjeet sen käyttämisestä selityksen muodostamiseen, että oppijalle annetaan mahdollisia tapoja käyttää todisteita selitysten muodostamiseen, että oppijaa ohjataan selityksen muodostamisen prosessissa tai että oppija muodostaa selityksen itsenäisesti tutustuttuaan todisteisiin. Tutkimuskykyjen kehittämiseen tarvitaan avoimuudeltaan vaihtelevia kokemuksia. Ymmärtääkseen, miten tieteellistä tietoa tavoitellaan ja kehittyäkseen korkeamman tason tutkimustaidoissa opiskelijoiden pitää kuitenkin joskus voida kehittää omia tutkimuskysymyksiään. (NRC, 2000 s.28-30)

Tutkimukselliselle oppimiselle voidaan määritellä neljä tasoa. Matalimmalla tasolla ovat vahvistavat tutkimukset (confirmation experiences), joissa oppilaat varmentavat tunnettuja tieteellisiä periaatteita seuraamalla annettuja ohjeita. Tämän kaltaisia töitä voidaan kutsua myös keittokirjalaboratoriotöiksi. Seuraavalla tasolla on jäsennetty tutkimus (structured inquiry), jossa opettaja esittää kysymyksen, johon oppilaat eivät tiedä vastausta ja oppilaille annetaan ohjeet, joita seuraamalla he suorittavat tutkimuksen loppuun. Seuraava taso on ohjattu tutkimus (guided inquiry), jossa opettaja antaa oppilaille ongelman tutkittavaksi, mutta ongelmanratkaisuun käytettävät menetelmät jäävät oppilaiden kehitettäväksi. Ylimmällä tasolla, avoimessa tutkimuksessa (open inquiry tai independent inquiry), oppilaat kehittävät itse tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät. (Windschitl, 2003)

Windschitlin (2003) mukaan erot kolmella ylimmällä tasolla voivat vaikuttaa pieniltä, mutta niillä on suuri vaikutus siihen, miten haastavaa tutkimus on oppijoille älyllisesti ja miten monimutkaista sen ohjaaminen on opettajalle pedagogisesti. Tsengin, Tuanin ja Chinin (2013) mukaan opettaja voi tutkimuksellisuuden tasosta huolimatta joutua mukauttamaan opetustyyliään traditionaalisista metodeista, sillä tutkimuksellinen opetus keskittyy aina opiskelijaan ja opettajan rooli on ohjata opiskelijoita. Tällöin opettaja auttaa opiskelijoita kehittämään kriittistä ajatteluaan, korottaa heidän korkean tason ajatteluaan ja ongelmanratkaisutaitojaan, opastaa heitä ymmärtämään tieteellisiä käsitteitä, kasvattaa heidän tietoisuuttaan tieteellisen työn prosesseissa tarvittavien taitojen roolista ja kasvattaa opiskelijoiden oppimismotivaatiota (Tseng et al., 2013). Siitä, miten tutkimuksellista oppimista tulisi ohjata, ei ole kuitenkaan samanlaista yksimielisyyttä kuin siitä, mitä siinä tulisi oppia (Minner, et al., 2009).

Paraskaan materiaali ei myöskään takaa, että oppilaat oppivat tutkimuksellisesti. Opettaja on tässä avainasemassa. Luonnontieteiden oppiminen tutkimuksellisesti liittyy aina luonnontieteiden oppisisältöön. Opiskelijat aloittavat siitä, mitä tietävät ja tutkivat sitä, mitä eivät tiedä. (NRC, 2000 s.36-37)

Minner et al. (2009) analysoivat 138 vuosien 1984 ja 2002 välillä lähinnä Yhdysvalloissa tehtyä tutkimusta tutkimuksellisesta oppimisesta ja havaitsivat, että tutkimuksellisella opiskelulla, erityisesti töillä, jotka korostivat opiskelijan aktiivista oppimista ja johtopäätösten vetämistä tiedoista, oli positiivinen vaikutus oppimiseen.

Tutkimuksellisuudella oli kuitenkin osassa tutkimuksista sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia tai ei ollenkaan merkittävää vaikutusta (Minner et al., 2009).

Tutkimuksellinen luonnontieteiden opetus lisää opiskelijoiden kiinnostusta luonnontieteitä kohtaan (Rocard et al., 2005). Tutkimuksellisen opetuksen etuina on pidetty myös sitä, että se valmistaa opiskelijoita muuttuvaan maailmaan (Bennet, 2015) ja kehittää heidän kriittistä ajatteluaan ja kykyään vuorovaikuttaa yhteiskunnan kanssa tieteellisesti sävyttyneellä tavalla (Gutierrez, 2015).

Oikealla tavalla käytettynä tutkimuksellista oppimista voi hyödyntää myös luonnontieteen luonteen opettamisessa autenttisesti (Chinn & Malhotra, 2002) ja luonnontieteiden yhdistämisessä yhteiskunnallisiin kysymyksiin (Rudolph, 2005).

Tutkimuksellista opetusta, kuten muitakin vähemmän ohjeistusta käyttäviä opetusmenetelmiä, on kritisoitu siitä, että se on tehotonta, aiheuttaa suuremman taakan työmuistille, turhauttaa tai hämmentää opiskelijoita, mikä voi johtaa virhekkäisyyksiin tai on menestyksestä vain, kun opiskelijoilla on aikaisempaa tietoa aiheesta (Kirschner, Sweller & Clark, 2006).

Monteynen ja Cracolice (2004) vastaavat kritiikkiin tiedon keräämisen jättämisestä opiskelijan vastuulle, että ohjatun tutkimuksen idea on se, että tiedon analysointi jätetään opiskelijan vastuulle, ei tiedon keruu. Saatuaan mielekkäitä kokemuksia ohjatussa tutkimuksellisuudessa opiskelijat voivat alkaa kehittää ja testata omia hypoteesejaan (Monteyne & Cracolise, 2004).

3.2 Molekyylimallinnus

Kemistit ovat kehittäneet useita esitystapoja, erityisesti malleja, tutkiakseen luonnonilmiöitä molekyylien, atomien ja subatomisten hiukkasten käsitteiden ja niiden välisten suhteiden avulla (Dori & Kaberman, 2012). Malli on esitys kappaleesta, tapahtumasta, prosessista tai systeemistä (Gilbert & Boulter, 1998) tai fyysinen tai laskennallinen esitys molekyylin koostumuksesta ja rakenteesta (Dori & Kaberman, 2012). Malleja tehdään erilaisiin tarkoituksiin ja ne voivat kuvastaa mallinnuksen kohdetta usealla eri tavalla. Mallien luonteesta riippumatta ne voivat kuvastaa todellisia, hypoteettisia tai kuvitteellisia kokonaisuuksia. (Chiu & Wu, 2009)

Opettajat käyttävät malleja selittääkseen luonnontieteen ilmiöitä ja opiskelijat tuottavat malleja osoittaakseen ymmärrystään. Mallit ovatkin usein ainoa tapa selittää abstrakti luonnontieteen teoria. Siksi tieteellisten mallien roolia luokkahuoneessa on tärkeää korostaa. (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002)

Kemiaa voidaan kuvailla kolmella selvästi erottuvalla tasolla, joista voidaan opetuksessa käyttää samaan aikaan yhtä, kahta tai kolmea (Johnstone, 1991). Tasoista käytetään tässä nimityksiä makrotaso, mikrotaso ja symbolinen taso. Makrotaso liittyy aistein havaittaviin ilmiöihin (Dori & Kaberman, 2011; Johnstone, 1991). Mikrotason ymmärrys koostuu mentaalimalleista (mental images), joita kemistit käyttävät kuvitellakseen ja selittääkseen havaintonsa atomien, molekyylien ja ionien tasolla (Tasker, 2014). Symbolinen taso esitetään käyttämällä kaavoja ja yhtälöitä (Dori & Kaberman, 2012).

Erilaisten mallien hyödyntäminen olettaa, että opiskelijat linkittävät mikrotason makrotasoon. Opiskelijoiden täytyy myös kääntää mikro- ja makrotason tieto symboliseksi ymmärrykseksi. (Ealy, 2004)

Sekä opettajat että luonnontieteilijät ovat sitä mieltä, että kyky visualisoida avaruudellisia suhteita ja niiden muutoksia erilaisissa ilmiöissä ja rakenteissa on kriittinen tekijä ongelmaratkaisun ja ymmärryksen suhteen. Opintojen edetessä tämä muuttuu yhä tärkeämmäksi, sillä opiskelijoiden täytyy paitsi olla tietoisia avaruudellisista suhteista, myös ymmärtää millaisia rajoituksia molekyyliarakenteet voivat asettaa aineelle makrotasolla ja mikä rooli niillä on molekyylien välisessä vuorovaikutuksessa ja kemiallisessa reaktiivisuudessa. Valitettavasti luonnontieteissä usein käytetyillä kaksiulotteisilla esittämistavoilla voi esittää vain arviolta niiden kuvaamat kolmiulotteiset tapahtumat. (Stieff, Bateman & Uttal, 2005)

Ennen 1990-luvun alkua mikrotasoa esittävistä resursseista oli pulaa, joten opetus rajoittui makro- ja symboliselle tasolle. Visualisointi mikrotasolla on kuitenkin tärkeää, sillä monet opiskelijoiden vaikeudet ja harhakäsitykset kemiaan liittyen johtuvat puutteellisista tai virheellisistä mikrotason mielikuvista. (Tasker, 2014) Jos opiskelijoilta puuttuu selvä mikrotason mentaalimalli, he eivät ymmärrä molekulaarisen tason tapahtumien ja makrotasolla havaitun ilmiön välistä suhdetta eivätkä kemian roolia omassa elämässään tai yhteiskunnassa (Ventakaraman, 2009).

Justi ja Gilbert (2002) suosittelevat, että opiskelijoiden pitäisi oppia mallien luonteesta ja niiden käytöstä oppimistyökaluina sekä kunkin mallin laajuudesta ja rajoituksista, että opiskelijoita pitäisi rohkaista käyttämään useita eri malleja samaan ilmiöön liittyen, että opiskelijoiden pitäisi saada mahdollisuuksia kehittää ja testata omia mallejaan, ja että johdannon mallien luonteeseen pitäisi tapahtua jaksoittain. Lisäksi oppikirjojen pitäisi selvästi esitellä käyttämänsä esitystavat ja välttää käyttämästä hybridimalleja (Justi & Gilbert, 2002) eli malleja, jotka sulauttavat yhteen useita historiallisia malleja (Gilbert, 2005). Opettajankoulutuksessa tulisi myös opettaa mallintamisen opettamisen strategioita (Justi & Gilbert, 2002).

Tietokonemallinnuksen ja simulaatioiden yleistyminen vaikuttaa opiskelijoiden käsitteelliseen ymmärrykseen siitä, mitä mallit ovat ja miten ne toimivat (Treagust et al., 2002). Simulaatioissa käyttäjä tutkii tietokoneohjelmaan rakennettua mallia, kun taas mallinnusohjelma sallii käyttäjiensä kehittää omia mallejaan (Bennett, 2003 s.131).

Tietokoneella käytettävien molekyylimallinnusohjelmien etu verrattuna fyysisiin malleihin on se, että niiden avulla voi visualisoida rakenteen lisäksi myös muita tekijöitä. Monet mallinnusohjelmat sallivat käyttäjien rakentaa molekyylin atomeista, etsiä matalaenergisimmän geometrisen rakenteen, mitata sidospituuksia ja -kulmia, vaihtaa esitystapaa ja käänellä mallia, jotta sitä voisi katsoa eri kulmista. (Kozma & Russel, 2005)

Tietokoneella tehtävässä mallinnuksessa voi myös luoda useita yhtenäisiä malleja ja auttaa opiskelijoita soveltamaan erityylisten mallien esittämää informaatiota ja sovittamaan yhteen erityyiset mallit samasta ilmiöstä (Justi & Gilbert, 2002) sekä havainnollistaa liikkumattomia malleja paremmin mallien dynaamista luonnetta (Bucat & Mocerino, 2009). Tietokoneella mallintaessa on myös mahdollista molekyylien suurta määrää kuvata päästä lähemmäksi todellisuutta (Bucat & Mocerino, 2009).

Käsitellessään multimedian roolia mallinnuksessa Chiu ja Wu (2009) ehdottavat multimediamalleja avuksi luonnontieteen oppimisen vaikeuksiin, jotka johtuvat siitä, että luonnontieteelliset ilmiöt ovat monimutkaisia ja mahdottomia havainnoida. Luonnontieteellisen ilmiön ydinasioita kuvaavat dynaamiset, simuloidut tai yhdenmukaiset multimediamallit, jotka tavoittelevat tieteellisen konseptin yhteensovittamista ilmaistun tai ulkoisen mallin kanssa voivat auttaa oppijoita kehittämään käsitteitä tai ideoita kyseisestä ilmiöstä (Chiu & Wu, 2009).

Fyysisten mallien staattisuus tai esimerkiksi se, että sekä molekyylin sisäisiä että molekyylien välisiä sidoksia esitetään tikulla, voi olla harhaanjohtavaa. Toisaalta fyysinen, käsin kosketeltava malli voi tuoda kolmiulotteisen rakenteen esiin paremmin kuin 2D-esitys 3D-mallista tietokoneen ruudulla, erityisesti jos opiskelijalla ei ole kokemusta fyysisistä malleista. (Tasker, 2014)

Malleja käyttäessä on olemassa mahdollisuus väärinkäsityksiin. Opiskelijat voivat esimerkiksi uskoa mallin vastaavan täysin todellisuutta tai malli voi luoda monimutkaisesta ilmiöstä liian yksinkertaisen kuvan (Wellington, 2004). Opettajien tulee malleja käyttäessään olla tietoisia mahdollisista väärinkäsitysten lähteistä ja olla valmiita keskustelemaan niistä rakentavasti (Lundell & Aksela, 2007).

Opiskelijat voivat käyttää malleja ymmärtääkseen sidoksiin ja rakenteisiin liittyviä käsitteitä. Mallit ja animaatiot voivat myös tukea laboratoriotöitä auttaen oppilaita siirtämään keskustelua kokeiden fyysisestä puolesta molekulaariselle tasolle ja dynaamisiin prosesseihin. (Kozma & Russell, 2005)

Stieff et al. (2005) toteuttivat yliopistotason kursseilla projektin, jossa kukin opiskelija tutki yhden makromolekyylin rakennetta ja toimintaa ja rakensi siitä sarjan interaktiivisia graafisia kuvia. Ennen tätä opiskelijoiden piti manipuloida samankaltaisia malleja ohjatuttua tutkimusta käyttävissä kotitehtävissä. Opiskelijat kokivat molekyylimallien rakentamisen opettavan enemmän ja opittujen asioiden pysyvän mielessä pidempään kuin valmiisiin malleihin tutustumisessa, tosin osa opiskelijoista tunsikin, että projekti vei liikaa aikaa perusasioilta tai että uuden ohjelman käytön opettelu vaati liikaa opiskelijoilta. (Stieff et al., 2005)

Dori ja Kaberman (2012) tutkivat israelilaisten lukion 12. luokkalaisten oppimista virtuaalilaboratorio- ja molekyylimallinnusoppimisympäristössä. Opiskelijat reagoivat positiivisesti molekyylimallinnukseen ja pitivät mallinnusta tärkeänä. Yli 60% opiskelijoista viittasi mallinnusosaan vastatessaan kysymykseen siitä, miten oppimisympäristö edesauttoi heidän kemian oppimistaan ja miten saavutetut tiedot ja taidot auttavat heitä tulevaisuudessa. Pre- ja postkysymysten mukaan opiskelijoiden mallinnustaidot (jotka oli jaoteltu taitoihin, joita vaaditaan eri esitystapojen välillä siirtymiseen ja taitoihin, joita vaaditaan symbolien ja mallien välillä siirtymiseen ja kemian eri tasojen välillä siirtymiseen) paranivat merkittävästi, akateemisesti heikommin menestyvien opiskelijoiden suhteessa eniten. (Dori & Kaberman, 2012)

Vuonna 2008 tehtyyn kyselyyn vastanneet suomalaiset opettajat käyttivät tietokoneavusteista molekyylihallinnusta kehittääkseen opiskelijoiden visualisointitaitoja ja havainnollistaakseen vaikeita käsitteitä. Tietokoneavusteinen molekyylihallinnus sallii myös opiskelijoiden tutkia asioita itsenäisesti esimerkiksi rakentamalla molekyyliä ja mittaamalla sidoskulmia ja –pituuksia. Useimmiten käytettyjä molekyylihallinnuksen aiheita olivat molekyylien avaruusrakenteen visualisointi ja isomeria. Lisäksi opettajat käyttivät tietokoneavusteista molekyylihallinnusta esimerkiksi atomimallin, orbitaalien, orgaanisten yhdisteiden ja niiden ominaisuuksien, molekyylien dipoliluonteen ja sidosten muodostuksen opetuksessa. Mallinnusohjelmat helpottivat myös yhdisteiden piirtämistä, nimeämistä ja havainnollistamista opettaessa. Molekyylihallinnusohjelmia käytettiin tunneilla molekyylien rakentamiseen ja nimeämiseen, molekyylien tutkimiseen ja molekyylien havainnollistamiseen. (Aksela & Lundell, 2008)

3.3 Kokeellisuus kemian opetuksessa

Kokeellisuudella on pitkään ollut tunnusomainen ja keskeinen rooli luonnontieteiden opetusohjelmassa välineenä luonnollisen maailman ymmärtämiseen ja laboratorio on oppimisympäristönä ainutlaatuinen ohjeistuksen, oppimisen ja arvioinnin suhteen (Hofstein, Kipnis & Abrahams, 2013). Opetuksessa kokeellisuus on perinteisesti demonstraatioiden tai oppilastöiden tekemistä tai työskentelyä laajempien projektien parissa. Kokeellisuuden työtapoja ovat mm. havaitseminen, luokittelu, mittaaminen, tiedon esittäminen, mallintaminen, päättely ja soveltaminen. (Lavonen & Meisalo, 2007) Kokeellisissa töissä havainnointi tapahtuu makrotasolla (Tsaparlis, 2009) ja ne voivat vaihdella avoimuudeltaan (Lavonen & Meisalo, 2007).

Tavoitteita, joihin kokeellisuudella pyritään, voivat olla esimerkiksi:

- luonnontieteen käsitteiden ymmärtäminen
- kiinnostuksen ja motivaation herättäminen ja ylläpitäminen
- käytännön tieteellisten taitojen ja ongelmanratkaisun, analysoinnin, yleistämisen, kriittisen ajattelun, soveltamisen ja arvioinnin taitojen oppiminen
- luonnontieteiden luonteen ymmärtäminen
- mahdollisuus tehdä tiedettä
- tarkan huomioinnin ja kuvailun rohkaiseminen
- käden taitojen ja välineiden käytön harjoittelu
- luonnontieteen ilmiöiden oikeaksi tekeminen

- tieteellisen ajattelun tukeminen
- tarjota konkreettisia kokemuksia ja keinoja tukemaan virheellisten ennakkokäsitysten vaihtamista tieteen käsitysten mukaisiksi
- opiskelijan luonnontieteitä ja ympäristöä koskevien arvojen kehittäminen

(Bennett, 2003 s.78-79; Hofstein et al., 2013; Lavonen & Meisalo, 2007)

Kun opiskelijat suorittavat kokeellisen työn itse, kokeellinen työ voi lisäksi tukea opiskelijan persoonallisuuden kehittymistä, esimerkiksi organisointikyvyn, rehellisyyden, objektiivisuuden ja epäonnistumisen siedon kehittymistä. Ryhmässä tehtävät oppilastyöt voivat tukea lisäksi esimerkiksi yhdessä toimimista ja keskustelutaitoa. (Lavonen & Meisalo, 2007)

On huomattava, että osa päämääristä vastaa luonnontieteiden opetuksen laajoja päämääriä, jotka eivät välttämättä pohjautu vain kokeellisuudelle. Opettajan tulee arvioida, onko laboratorio tehokkain oppimisympäristö jonkin päämäärän saavuttamiselle tiettyä aihetta käsiteltäessä. (Hofstein et al., 2013) Osa tavoitteista myös liittyy toisiinsa. Esimerkiksi havainnointitaitoja kehitetään parhaiten havainnoiden luonnontieteellisiä ilmiöitä, mikä todennäköisesti edistää ilmiöön liittyvien asioiden oppimista. Menettelytapoihin liittyvä ja käsitteisiin liittyvä tieto kulkevat siis käsi kädessä. (Bennett, 2003 s.79)

Tutkimusten mukaan huolellisesti suunnitellulla, kehitetyllä ja jäsennellyllä laboratoriokeskeisellä opetussuunnitelmalla on potentiaalia edistää opiskelijoiden mielekästä oppimista, käsitteellistä ymmärrystä ja ymmärrystä luonnontieteiden luonteesta. Lisäksi laboratoriotyöskentely lisää opiskelijoiden kiinnostusta ja positiivisia asenteita luonnontieteitä kohtaan. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011) Ainakin osa opiskelijoista, jotka ilmoittavat pitävänsä kokeellisesta työskentelystä, pitää siitä kuitenkin vain enemmän kuin muista opiskelutavoista, eikä välttämättä ole kiinnostunut luonnontieteistä (Hofstein et al., 2013).

Monet tutkimukset ovat kuitenkin kritisoineet perinnettä harjoittaa kokeellisuutta ilman selkeää tavoitetta ja päämäärää. Lisäksi opettajien tulkinta kokeellisuuden tavoitteista ja päämääristä voi erota kokeelliset työt kehittäneiden opetussuunnitelmasuunnittelijoiden näkemyksistä. (Hofstein et al., 2013) Myös kokeellisuuden arviointi voi olla ongelmallista, jos oppilasta arvioidaan vain tiedollisen menestymisen näkökulmasta huomioimatta kokeellisen työskentelyn taitoja (Lavonen & Meisalo, 2007).

Kokeellisen työn ohjeet esitetään usein makrotasolla tarkoituksena demonstroida lakeja tai ilmiöitä. Teoriaan ja mikrotasoon vedotaan selitettäessä makrotason havaintoja, mutta kokeet, jotka demonstroivat suoraan linkkiä makro- ja mikrotasojen välillä, ovat puutteellisia. (Tsaparlis, 2009)

Kokeellinen toiminta voi olla pelkästään motorista, eikä aina johda aktiiviseen tiedon käsittelyyn ja omakohtaiseen tiedon konstruointiin. Jos pyritään aktiiviseen opiskeluun, kokeellinen työ ja sen ohjeet on suunniteltava siten, että oppilailla on mahdollisuus aloitteellisuuteen ja vastuunottoon omasta työstään. (Lavonen & Meisalo, 2007)

Kokeellinen työ voi myös jäädä irralliseksi muusta opiskelusta eikä tue käsitteiden ja periaatteiden käyttöönottoa (Lavonen & Meisalo, 2007). Kokeellisen työn vaatima toiminta, kuten ohjeiden lukeminen, välineiden käyttö, havainnointi ja mittaaminen sekä tulosten kirjaaminen, voivat johtaa oppilaiden huomioita pois kokeellisen työn päätarkoituksesta (Bennett, 2003 s.82-83).

Työohjeita suunniteltaessa on otettava huomioon (Pickering, 1987) myös se, että opiskelijat eivät kokeellista työtä tehdessään välttämättä osaa erottaa tärkeitä asioista ”taustahälystä”, asioista, jotka eivät ole sillä hetkellä tärkeitä (Johnstone, 1984). Siksi esimerkiksi turvallisuuteen liittyvät ohjeet saattavat hukkaa taustahälyn joukkoon, jos ne esitetään yleisenä varoituksena, eikä osana ohjetta. Teorian opettaminen ennen kokeellisen työn tekoa voi lisätä taustahälyn määrää koetta tehdessä, jos opiskelija ei tiedä, mitkä tiedoista ovat tärkeitä kokeen onnistumisen kannalta. Hyvin suunniteltu työohje sisältää kysymyksiä, jotka on muotoiltu niin, että opiskelijat oppivat myös työhön liittyvää teoriaa, koska heidän tarvitsee tietää se vastatakseen kysymyksiin. (Pickering, 1987)

Abrahams ja Millar (2008) havainnoivat Englantilaisissa kouluissa 25 kemian, fysiikan tai biologian oppituntia, joilla tehtiin kokeellista työtä. Oppituntien jälkeisissä haastatteluissa äskeisestä oppitunnista ja aikaisempien tuntien kokeellisista töistä monet oppilaat pystyivät kuvailemaan mitä he olivat tehneet tai nähneet opettajan tekvän, millä työvälineillä ja materiaaleilla ja mitä he olivat nähneet, mutta käsitteellisen ymmärryksen kasvusta oli vähemmän todisteita. On kuitenkin huomattava, että kokeellinen työ oli yleensä vain osa aihekokonaisuutta. Työt, jotka muistettiin parhaiten, olivat yleensä jollain tavalla epätavallisia ja sisälsivät huomiota herättävän visuaalisen, ääni- tai hajuelementin, uuden esitystavan tai –kontekstin tai ”älläkertoimen”. (Abrahams & Millar, 2008)

Abrahamsin ja Millarin (2008) mukaan voi olla tärkeää, että kokeellisuuden aiheeseen liittyvät ideat ovat mukana kokeellisuuden aikana sen sijaan, että ne esiteltäisiin jälkikäteen havaintojen selittämiseksi. Näin kokeellisen työn rooli opiskelijoiden auttamisessa havaintojen ja ideoiden linkittämisessä toisiinsa toteutuisi paremmin. Kokeellista työskentelyä voisi parantaa, jos opettajat olisivat tietoisempia siitä, että kokeelliset työt, jotka vaativat opiskelijoita linkittämään havainnot ideoihin, ovat vaativampia kuin työt, jotka vaativat vain havainnointia ja havaintojen muistamista. Tällöin oppitunnin voisi jakaa tasaisemmin oppimiseen ja tekemiseen. (Abrahams & Millar, 2008)

Myös Suomessa on kokemuksia siitä, että oppilaat ovat oppineet kokeellisuudessa lähinnä suorittamaan kokeita ohjeen mukaan, mutta heidän luonnontieteellinen ajattelunsa ei ole kehittynyt (Lavonen & Meisalo, 2007).

3.3.1 Eri opetusmenetelmien vertailua kokeellisten töiden suhteen

Kokeellisia töitä voi toteuttaa eri tavoin. Perinteinen tapa, ”keittokirjalaboratoriotyöt” on opettajakeskeinen ja opiskelijan täytyy vain seurata opettajan ohjeita tai kirjallisia ohjeita. Lopputulos on ennalta määriteltä ja voi olla opiskelijan tiedossa jo ennakolta. Työn tulosta verrataan odotettuun tulokseen. (Tsaparlis, 2009)

Perinteinen tapa asetetaan usein vastakkain muiden tapojen, kuten tutkimuksellisen tai ongelmalähtöisen kokeellisuuden kanssa. Tutkimuksellinen opiskelu määritellään tarkemmin luvussa 3.1. On huomattava, että eri kirjoittajat voivat käyttää kokeellisuuden työtapoja kuvaavia termejä hieman eri merkityksessä ja että myös keittokirjalaboratoriotöitä voi käyttää matalan tason kokeellisuuteen.

Monteynen ja Cracolice (2004) mukaan keittokirjalaboratoriotöiden sijaan opetuksessa pitäisi käyttää tutkimuksellista lähestymistapaa, sillä keittokirjalaboratoriotöissä opiskelijat seuraavat ohjeita ajattelematta niitä, eivätkä ne kehittä luovuutta, käsitteellistä ymmärrystä tai ajattelutaitoja. Opiskelijan ensimmäisen kokemuksen kemian laboratoriossa tulisi kuitenkin olla rakennettu selkeiden ja turvallisten ohjeiden ympärille, jotta todennäköisyys opiskelijan onnistumiselle olisi suurempi (Monteyne ja Cracolice, 2004).

Aultin (2002, 2004) mukaan keittokirjalaboratoriotyöt ovat hyödyllisiä, vaikka niitä ei aina käytetäkään viisaasti, sillä opiskelijoiden ei voi olettaa keksivän kaikkea itse. Ohjetta pitäisi käyttää vain lähtöpisteenä ja ajatuksen kanssa käytettynä ne voivat kehittää taitoja ja

tarjota elämyksiä (Ault, 2002). Kokeellisuuden ei myöskään tule olla vain keittokirjalaboratoriotöitä (Ault, 2004).

Tsaparliksen (2009) mukaan perinteisiä kokeellisia töitä tarvitaan tulevaisuudessakin kehittämään opiskelijoiden kokeellisiin töihin liittyviä perustaitoja, huolimatta niiden tehottomuudesta luoda realistista tieteellistä ympäristöä tai edistää korkeamman tason ajattelutaitoja. Niitä ei kuitenkaan tulisi käyttää liikaa (Tsaparlis, 2009).

Tutkimuksellinen kokeellinen työskentely, erityisesti avoin tutkimuksellisuus, on aikaa vievää, potentiaalisesti kallista ja vaativaa niille, jotka joutuvat organisoimaan suuria kokeellisia oppitunteja (Tsaparlis, 2009). Sitä on kuitenkin syytä käyttää aika ajoin ja kaikilla tasoilla, sijoitettuna perinteisen kokeellisen työskentelyn loppuun, käyttäen siitä saatuja tietoja ja taitoja, mutta ilman sitovia ohjeita (Johnstone & Al-Shuaili, 2001, viitattu Tsaparlis, 2009).

Tutkimuksellisen kokeellisuuden puolesta puhuu myös se, että siinä opiskelija oppii paitsi tutkimustaitoja, myös korkeamman tason ajattelutaitoja kuten kysymysten kysymistä, hypoteesien tekoa ja metakognitiivisten taitojen kehittämistä (Hofstein et al., 2013; Kipnis & Hofstein, 2007; 2008).

Kipnis ja Hofstein (2007) vertasivat kahta lukiolaisryhmää, joista toinen oli osallistunut tutkimukselliseen kokeelliseen opetukseen ja toinen perinteisempään kokeelliseen opetukseen. Tutkimukselliseen opetukseen osallistunut ryhmä kysyivät verrokkiryhmää enemmän ja paremmin muotoiltuja kysymyksiä tehdessään kokeellisuutta, olivat parempia tulkitsemaan oppimisympäristöään ja heidän asenteensa kemian opiskelua kohtaan oli parempi (Kipnis & Hofstein, 2007). Laajemmassa tutkimuksessa (Kipnis & Hofstein, 2008), jossa tutkittiin useita lukiolaisryhmiä, jotka osallistuivat tutkimuksellisia kokeellisia töitä sisältävään ohjelmaan, havaittiin tutkimuksellisen kokeellisen työn kehittävän opiskelijoiden metakognitiivisia taitoja.

3.3.2 Tieto- ja viestintätekniikan käyttö kokeellisuuden yhteydessä

Teknologian käyttäminen laboratoriotöiden yhteydessä voi edistää tärkeiden luonnontieteen käsitteiden oppimista. Jos esimerkiksi tiedon kerääminen ja analysointi hoidetaan teknologian avulla, opiskelijoille ja opettajalle jää enemmän aikaa havainnointiin, reflektioon ja työhön liittyvän käsitteellisen ymmärtämisen rakentamiseen. (Hofstein et al., 2013)

Tietotekniikka voi helpottaa kokeellisen työn tekoa useilla tavoilla. Automaattinen kuvaajan piirtäminen voi auttaa oppilaita yhdistämään kuvaajan työhön (Barton, 2004). Jos laskukaavoilla on opetuksessa vain välinearvo, laskuprosessin voi siirtää taulukkolaskentaohjelmaan. Kokeellisen työn tuloksia on myös mahdollista vertailla samassa taulukossa, mihin riittää yksi tietokone luokassa. Taulukkomallinnus auttaa myös löytämään säännönmukaisuuksia, joita voi muuten olla vaikea huomata. (Wardle, 2004) Toisaalta on varottava, etteivät monimutkaiset koejärjestelyt tai näyttävät graafiset esitykset vie opiskelijoiden huomiota kokonaan (Lavonen & Meisalo, 2007).

Multimedia mahdollistaa myös sellaiset kokeet, jotka ovat liian vaarallisia tai kalliita toteuttaa koulun laboratorioluokassa. Samoin reaktio on mahdollista toistaa tai hidastaa, eikä se koskaan mene vikaan. Kokeellisuutta ei kuitenkaan pitäisi korvata kokonaan tietokoneen näytön tuijottamisella, sillä omin käsin tehdyt kokeet voivat jäädä vahvemmin mieleen. (Wellington, 2004)

Teknologiset välineet voivat oikein käytettyinä auttaa opiskelijoita suorittamaan, tulkitsemaan ja raportoimaan kattavampia, tarkempia ja kiinnostavampia tutkimuksia. Tieto- ja viestintäteknikan käytön määrä koululaboratorioissa vaihtelee ja on vielä alkuvaiheessa. Voidaan kuitenkin olettaa, että se tulee lisäämään integraatiota tietokonesimulaatioiden ja kokeellisten töiden välillä. (Hofstein et al., 2013)

3.4 Veden kemiaa

Vedellä on useita epätavallisia ominaisuuksia, joista jotkin ovat sille ainutlaatuisia (Stillinger, 1975). Vedellä on epätavallisen korkea ominaislämpökapasiteetti. Matalasta moolimassastaan (18,02 g/mol) huolimatta vesi on nestemäistä huoneenlämpötilassa. Yhdisteistä, joiden moolimassa on samaa luokkaa, ainoastaan vetyfluoridi pääsee lähelle nestemäistä huoneenlämpötilassa. Veden korkean kiehumispisteen voi selittää vesimolekyylin rakenteella. Vesimolekyylin v-muoto ja O-H-sidoksen voimakkaan polaarinen luonne sallivat vesimolekyylin muodostaa vetysidoksia neljän muun vesimolekyylin kanssa, mikä johtaa suhteellisen korkeaan kiehumispisteeseen. (Tro, 2008 s.494)

Veden voimakas polaarisuus myös sallii sen liuottaa monia polaarisia ja ioniyhdisteitä (Tro, 2008 s.494). Ioniyhdisteen liuetessa veteen vesimolekyylin puoli, jolla on positiivinen osittaisvaraus, vetää puoleensa negatiivisesti varautuneita anioneja, kun taas

puoli, jolla on negatiivinen osittaisvaraus, vetää puoleensa positiivisesti varautuneita kationeja. Prosessia kutsutaan hydratoitumiseksi. (Zumdahl & Zumdahl, 2006 s.128)

Tapa, jolla vesi jäätyy, on ainutlaatuinen, sillä toisin kuin muut aineet, jotka tiivistyvät jäätyessään, vesi laajenee jäätyessään. Siksi jää on vähemmän tiheää kuin nestemäinen vesi ja kelluu sen pinnalla. Jos näin ei olisi, jääkerros vajoaisi veden pohjaan ja järvi tai lampi voisi jäätyä kokonaan. Jääkerros veden pinnalla sen sijaan suojelee alapuolella olevaa vettä jäätymiseltä ja mahdollistaa elämän selviytymisen vedessä. (Tro, 2008 s.495)

Jään rakenne muodostuu heksagonaalisista renkaista. Rakenne pysyy koossa vahvoilla vetysidoksilla, jotka samalla pitävät molekyylit erillään toisistaan. (VanLoon & Duffy, 2011 s. 217) Jos veteen on liuennut jotain muuta ainetta, jäätymispiste laskee, sillä vaikka yhdiste liukenesi helposti veteen, vieraat molekyylit tai ionit eivät pakkaudu helposti jään molekyylien rakenteeseen (Senese n. d.).

Veden sulaessa 1 atm ilmanpaineessa ja 0 °C lämpötilassa sen moolitilavuus kutistuu jään 19,66 cm³:stä nestemäisen veden 18,0182 cm³:iin. Veden tiheys on suurimmillaan nestemäisenä 3,98 °C lämpötilassa. Minkään muun nesteen ei tiedetä saavuttavan suurinta tiheyttään sulamispisteensä yläpuolella. (Stillinger, 1975) Tämä selittyy sillä, että 0 °C lämpötilassa nestemäinen vesi säilyttää vielä osittain jään rakenteen (VanLoon & Duffy, 2011 s. 217).

3.5 Teoreettisen ongelma-analyysin yhteenveto

Aikaisemman tutkimuksen perusteella tutkimuksellinen opiskelu ja kokeellisuuden ja molekyylimallinnuksen käyttö voi vaikuttaa myönteisesti kemian opiskeluun, mutta mikään niistä ei kuitenkaan itsessään takaa sitä. Ei ole myöskään olemassa yhtä oikeaa tapaa toteuttaa tutkimuksellista kokeellista työskentelyä tai tutkimuksellista mallinnusta. Tutkimuksellista luonnontieteiden opiskelua voi käyttää monella tasolla ja monin eri tavoin.

Tietokoneella suoritettavat mallinnukset ja simulaatiot voivat havainnollistaa erityisesti mallin kolmiulotteisuutta sekä molekyylien suurta määrää ja niiden liikettä. Kokeellinen työskentely voi tukea opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota ja havainnollistaa kemian ilmiöitä, mutta työt on suunniteltava hyvin, jos niiden halutaan tukevan myös teorian oppimista. Kokeelliseen työssä tai sen tukena voi käyttää tieto- ja viestintätekniikkaa.

Mallinnus havainnollistaa kemian ilmiöitä mikrotasolla ja kokeellinen työskentely makrotasolla, mutta eri tasojen yhdistäminen ei välttämättä ole yksinkertaista.

4 Kehittämisprosessi

4.1 Empiirinen ongelma-analyysi: Oppikirja-analyysi

Empiirisessä ongelma-analyysissä analysoitiin sitä, miten vettä käsitellään lukion oppikirjoissa. Alustavassa analyysissä olivat mukana kahden lukion oppikirjasarjan kirjat 1-5, ja sen tarkoituksena oli kartoittaa, missä kursseissa hyödynnetään veden kemiaa. Veden kemiaa hyödynnettiin lähinnä kurssien 1. (ihmisen ja elinympäristön kemia), 2. (kemian mikromaailma) ja 5 (reaktiot ja tasapaino) kirjoissa.

Näistä kohteeksi valikoituivat kurssit 1. ja 2., jotka opiskellaan usein peräkkäin ja joiden oppikirjoissa käsitellään veteen liittyen osittain samoja asioita. Siten on luontevaa rakentaa molempia kursseja tukevaa sisältöä veteen liittyen. Kurssissa 5. uutena käsitteenä tuleva veden autoprotolyysi jäi siis kehitettävän oppimateriaalin ulkopuolelle.

Varsinaisessa oppikirjojen analysoinnissa oli mukana neljän lukion oppikirjasarjan kurssien 1. ja 2. oppikirjat, yhteensä 8 kirjaa. Analyysi keskittyi siihen, missä yhteydessä vesi ja talousvesi mainitaan lukion oppikirjoissa. Kuva ja kuvateksti laskettiin maininnaksi, mutta reaktioita, joissa vesi esiintyi lähtöaineena tai tuotteena tai joka tapahtui vesiliuoksessa, ei laskettu, jos veden kemiaa ei erityisesti painotettu. Erityisesti happamuutta käsittelevät osiot olivat monesti rajatapauksia, jotka toisissa kirjoissa laskettiin mukaan ja toisissa jätettiin ulkopuolelle. Mainintojen lukumäärän vertaamista vaikeutti myös se, että osa veden kemiasta oli koottuna yhteen lukuun ja osa hajallaan muiden aiheiden joukossa. Veden kemiaa käsittelevissä luvuista jokainen yksittäinen kappale laskettiin pääosin omaksi maininnakseen.

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa kaikki maininnat vedestä koottiin yhteen taulukkoon (liite 2). Seuraavaksi listattiin veteen liittyvät aiheet kurseittain ja missä oppikirjoissa ne esiintyivät. Tässä vaiheessa myös tarkastettiin uudestaan osa oppikirjoista sellaisten aiheiden kohdalta, jotka muissa kirjoissa oli liitetty veteen. Tätä listaa käytettiin apuna päätettäessä mitä kemian sisältöjä kehittämistuotoksessa käsitellään. Maininnat vedestä ja talousvedestä taulukoitiin myös määrän mukaan.

Listaa aiheista ja alkuperäistä taulukkoa verrattiin muutaman kuukauden kuluttua ja listaa täydennettiin muutamalla aiheella ensimmäisestä versioista poisjääneellä aiheella, jotka oli mainittu vain yhdessä oppikirjassa (liite 3). Tämän jälkeen 1. ja 2. kurssissa käsiteltyjä aiheita verrattiin keskenään ja joitakin samankaltaisia aihepiirejä yhdistettiin. Aiheet jotka mainittiin ainakin kolmessa oppikirjassa, koottiin uuteen taulukkoon. Koska yhdessä maininnassa saatettiin käsitellä useaa aihetta tai useassa maininnassa samaa aihetta, mainintojen ja aiheiden määrät samassa oppikirjassa eivät olleet yhteneväiset.

4.2 Oppikirja-analyysin tulokset

Vesi mainitaan 1. ja 2. kurssien oppikirjoissa usein, vaikka veden ominaisuudet eivät virallisesti kuulukaan kummankaan kurssin opetussuunnitelman keskeisiin sisältöihin. Vettä käytetään esimerkkinä monissa tapauksissa, todennäköisesti koska se on opiskelijoille tuttu yhdiste ja vesimolekyyli on pieni ja rakenteeltaan yksinkertainen.

Osassa kirjasarjoista (kirjat A1, B2 ja C2) on erillinen luku veden ominaisuuksille, jossa käsitellään esimerkiksi veden suhteellisen korkeaa kiehumispistettä, jään rakennetta ja veden ominaisuuksia liuottimena sekä mahdollisesti pintajännitystä, kapillaari-ilmiötä ja osmoosia sekä sitä, miten veden poolisuus ja vesimolekyylien väliset vetysidokset selittävät näitä ominaisuuksia. Vesiosioissa käsitellään myös veden merkitystä luonnolle ja ihmiselle, mutta usein vain lyhyesti ensimmäisessä kappaleessa. Kirjasarjassa D viittauksia veteen oli vähiten, sillä siinä käytetään esimerkkeinä veden sijasta enemmän muita molekyylejä eikä siinä ole erillistä veden kemia –osuutta. Viittausten lukumäärät esitetään taulukossa 1.

Talousvesi esiintyy analysoiduissa oppikirjoissa harvemmin, lähinnä 1. kurssin kirjoissa. Kahdessa 1. kurssin kirjassa (sarjat A ja C) on pidempi selostus juomavedestä, mutta lisätietolaatikossa tai -sivuilla. Kirja A1 keskittyi puhtaan juomaveden tärkeyteen ja sen huonoon saatavuuteen joillain seuduilla ja kirja C1 erilaisten kemiallisten ja mikrobiologisten tekijöiden vaikutukseen juomaveden laatuun. Toisessa oppikirjoista (A1) oli juomavesitietoruudun lisäksi tietoruutu kovasta vedestä ja mainitaan yhdellä lauseella, että talousveteen ja luonnonvesiin on aina veden lisäksi liuenneena muita aineita. Toisessa (C1) lisätietosivu juomavedestä liittyi tutkimustyöhön kaivoveden laadusta, jossa opiskelija saa tiedot kahdesta näytteestä ja etsii netistä tietoa laatuvaatimuksista. Lisäksi kolmannessa kirjassa (B1) oli kokeellinen työ juomaveden suolapitoisuuden

määrittämisestä, neljäs (B2) mainitsee pintajännityksen vaikutuksesta pyykinpesuun ja viides oppikirja (D1) käyttää vesijohtovettä esimerkkinä seoksesta.

Taulukko 1: Maininnat vedestä eri oppikirjoissa (pois lukien maininnat käsitteissä)

lähde	viittauksia veteen	joista viittauksia talousveteen	vesi-kokonaisuus
A1	10	3	X
A2	11	0	
B1	12	1	
B2	16	1	X
C1	8	2	
C2	13	0	X
D1	9	1	
D2	3	0	

Kemian käsitteissä vettä käytettiin kirjoissa esimerkkinä esimerkiksi poolisesta molekyylistä (A1, C1, A2), kovalenttisia sidoksia sisältävästä molekyylistä (A1, B2), amfolyttisesta aineesta (B1, D1), yhdisteestä (B1) ja aineen olomuotoja käsiteltäessä (C2, D2). Vesi mainittiin aina myös liukoisuutta käsiteltäessä ja useat kirjat käsitelivät erikseen veden ominaisuuksia liuottimena. Hydratoitumista käsiteltiin kaikissa tutkituissa kirjasarjoissa, joskin termiä hydratoituminen käytettiin vain osassa oppikirjoista. Sidoksia käsiteltäessä veden vetysidokset mainittiin kaikissa kirjasarjoissa ja vetysidoksia käytettiin usein veden erityispiirteiden selittämiseen. Veden erityispiirteistä useimmiten mainittiin veden ja jään rakenne ja tiheysero, pintajännitys sekä veden suhteellisen korkea kiehumispiste. Yleisimmät aiheet, jotka esiintyivät ainakin kolmessa oppikirjassa, esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2: Aiheet, jotka mainittiin ainakin kolmessa oppikirjoista

aihe	mainitaan
vesimolekyyli poolisena molekyylinä	A1, C1, A2
liukoisuus ja vesi liuottimena	A1, B1, (D1*), A2, B2, C2
suolojen liukeneminen veteen, hydratoituminen	A1, B1, D1, A2, B2, C2
vetysidos	A1, B1, C1, D1, A2, B2
pintajännitys	A2, B2, C2
nestemäisen veden ja jään rakenne	A1, (C1**), B2, C2, (D2***)
kidevesi	C1, A2, B2, C2, D2
vesimolekyylin muoto selitettynä	A2, B2, C2, D2
veden korkea kiehumispiste	A1, B2, C2
veden merkitys luonnossa ja ihmiselle	A1, C1, B2, C2

ei käsittele erityisesti vettä liuottimena ** kuvat, mutta ei selitystä * vain jään rakenne*

4.3 Oppikirja-analyysin johtopäätökset

Oppikirja-analyysin perusteella veden kemia on aihe, jonka voi yhdistää moniin kurssien 1. ja 2. keskeisiin sisältöihin. Se, kuinka yhtenäisen kuvan opiskelija saa veden kemiasta voi kuitenkin riippua paljon käytetystä kurssikirjasta, joten veteen keskittyville harjoituksille voi olla tarvetta. Kaikille veden kemiaan liittyville sisällöille ei myöskään näytä olevan oppikirjoissa vakiintunutta paikkaa, vaan niitä käsiteltiin osassa oppikirjoja 1. kurssissa, osassa 2. kurssissa ja osassa molemmissa.

Vettä käsitellään kemian oppikirjoissa lähinnä kemiallisena yhdisteenä. Maininnat talousvedestä liittyivät yleensä joko arkielämän kontekstiin tai puhtaan juomaveden tärkeyteen. Veden merkityksestä ihmisille mainittiin kolmessa analysoiduista oppikirjasarjoista, mutta vain yhdessä käsiteltiin aihetta enemmän.

Oppikirja-analyysin perusteella kokeellisen työn ja tietokoneavusteisen aktiviteetin aiheeksi valittiin veden kemia, jota yhdistetään jonkin verran arkielämän konteksteihin, kuten talousveteen. Työt päätettiin kohdentaa erityisesti 1. ja 2. kurssien sisältöihin.

4.4 Kehittämistuotoksen teko

4.4.1 Lähtötilanne

”Mitä piilee talousvedessä?” on Kumpulan kampuksella toimivan kemianluokka Gadolinin valikoimaan kuuluva lukiotasoinen kemian kokeellinen työ, jossa tutkitaan vesinäytteen bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuutta ionikromatografilla. Alkuperäisen työohje kehitettiin keväällä 2013 tämän tutkielman tekijän, ionikromatografian Gadolinille lahjoittaneen Methrohm Oy:n ja Gadolinin yhteistyönä. Työn kontekstiksi otettiin kaivoveden vedenlaadun tutkiminen, jotta ionipitoisuuksien mittaamiselle saataisiin arkielämän yhteys. Työohjeen teoriaosassa käsitellään ionikromatografian toimintaa ja eri kationien ja anionien vaikutusta vedenlaatuun.

Tavoitteena oli luoda kokeellisen työn lisäksi vesiaiheinen tietokoneavusteinen aktiviteetti. Lisäksi tavoitteena oli tuoda kokeellisen työn työohje lähemmäksi lukion opetussuunnitelman keskeisiä sisältöjä ja mahdollisesti parantaa työohjetta. Työ suunniteltiin tukemaan erityisesti vuoden 2003 lukion opetussuunnitelman kemian 1. ja 2. kurssien sisältöjä. Molempiin työohjeisiin oli tarkoitus luoda lyhyt tutkimuksellinen oppimissykli.

Työohjeiden kehittämiseksi asetti rajoitteita se, että molemmat työt on voitava tehdä yhden opintokäynnin aikana ja töitä tekemään tulevilla opiskelijoilla on erilaiset taustatiedot aiheesta sen mukaan, missä vaiheessa he ovat kemian opiskeluaan. Siksi esimerkiksi pidempi oppimissykli ei olisi ollut käytännöllinen, sillä se olisi vaatinut opiskelijoita valmistautumaan vierailuun etukäteen tai jatkamaan aihetta myöhemmin, mihin kaikilla kursseilla ei välttämättä ole aikaa. Työohjeista pyrittiin myös tekemään sellaiset, että työn voi tehdä vähilläkin taustatiedoilla.

Kokeellisessa työssä rajoittavana tekijänä on myös se, että käytettävissä on vain yksi ionikromatografi, joka käyttää yhden näytteen analysointiin 13 minuuttia, joten suurilla opiskelijaryhmillä menee paljon aikaa ionikromatografille jonottamiseen. Tästä syystä kokeelliseen työhön pyrittiin tuomaan enemmän muita elementtejä kuin ionikromatografian käyttö.

Koska vierailua Gadoliniin voidaan käyttää herättämään opiskelijoissa innostusta kemian opiskelua kohtaan, tavoitteena oli myös kehittää työohjeista kiinnostavia, sujuvia ja jotain uutta tarjoavia, jotta vierailu olisi opiskelijoille positiivinen kokemus.

4.4.2 Työohjeiden kehittäminen

Veden kemia liitettiin töissä kemiallisiin sidoksiin ja ioneja sisältäviin vesiliuoksiin, koska kokeellisessa työssä tutkitaan vesinäytteen ionipitoisuuksia, sidosten muodostuminen ja hajoaminen on tärkeää ionikromatografian toiminnan kannalta ja seokset sekä kemiallinen sidos mainitaan lukion opetussuunnitelmassa keskeisinä sisältöinä (OPH 2003; 2015). Myöhemmin mukaan otettiin myös veden poolisuus ja veden ja jään rakenne, jotka tulivat esille oppikirja-analyysissä. Poolisuus on lisäksi lukion opetussuunnitelman keskeinen sisältö (OPH 2003; 2015).

Alkuperäinen kokeellisen työn työohje keskittyi veden laatuun vaikuttaviin tekijöihin, erityisesti ioneihin, ja sen oheistehtävät liittyivät erotusmenetelmiin. Mukana oli lisäksi yksi kysymys siitä, mikä sidos on kyseessä anionin sitoutuessa ionikolonnin varautuneeseen ryhmään. Työn suorituksessa opiskelija tutki ensin vesinäytteen aistein havaittavia ominaisuuksia ja sen jälkeen mittasi vuorollaan ionikromatografilla näytteen tutkittavien anionien pitoisuudet sekä vastasi monisteen kysymyksiin.

Muokatusta työohjeesta erotusmenetelmiin liittyvät kysymykset jätettiin pois ja sen sijaan uudeksi sisällöksi tuli, onko näyte puhdas aine vai seos sekä arjessa kohtaamamme veden ja ionivaihdetun veden erot. Vaikka puhtaat aineet ja seokset kuuluvat peruskoulun oppisisältöihin, se että ainoastaan vesi, josta on poistettu kaikki muut aineet, on kemiallisesti puhdas aine ja että puhdas vesi ja puhdas aine tarkoittavat eri asioita, ei välttämättä ole tullut opiskelijoiden mieleen, joten tässä voi syventää aikaisempia tietoja.

Työn suoritukseen lisättiin vesinäytteen vertailu näytteeseen ionivaihdettua vettä. Lisäksi työohjeen loppuun lisättiin koonti, jossa kunkin näytteen ja yhden ionivaihdettua vettä sisältävän näytteen pitoisuudet kootaan taulukkoon vertailtavaksi ja osa kysymyksistä oli tarkoitettu vastattavaksi ennen veden aistienvaraista tutkimista. Teoriaosasta poistettiin ionien raja-arvot ja sen sijaan ohjeistetaan opiskelijoita etsimään tutkittavien anionien raja-arvot netistä, minkä tavoitteena oli saada opiskelijat tutkimaan itse lähteitä ja käyttää jonotusaikaa ionikromatografille mielekkäämmin.

Tietokoneavusteiseksi aktiviteetiksi valikoitui veden mallintaminen molekyylimallinnusohjelmalla. Tarkoituksiin sopivaa ilmaista mobiililaitteilla toimivaa molekyylimallinnusohjelmaa ei löytynyt, joten mallinnus päätettiin toteuttaa tietokoneluokassa erillisenä aktiviteettina. Alun perin tarkoitus oli mallintaa jään rakennetta molekyylimallinnusohjelmalla, mutta koska tämä ei ollut mahdollista, lisättiin

työhön valmiin simulaation, joka esittää veden sulamista ja jäätymistä, tarkastelu (Angel Herráezin simulaatio osoitteessa <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>). Mallinnukseen lisättiin myös vesimolekyylin elektronitiheyden tarkastelu.

Mallinnusta kokeiltiin Spartan- ja Avogadro-molekyylimallinnusohjelmilla. Käytettäväksi molekyylimallinnusohjelmaksi valikoitui lopulta Spartan, sillä se on asennettu Kumpulan kampuksen tietokoneluokkien koneisiin ja sillä on mahdollista laskea molekyylin elektronitiheys.

Avogadron etuna olisi ollut määrittää kunkin atomin muodollinen varaus erikseen, jolloin opiskelija olisi voinut muuttaa atomit ioneiksi ja mahdollisesti havaita samalla eron vesimolekyylien vetyjen ja happien muodollisissa ja osittaisvarauksissa. Kummassakin ohjelmassa atomi, joka ei ole kovalenttisesti sitoutunut muihin atomeihin, käyttäytyi mallinnuksessa vetysidoksien muodostamista lukuun ottamatta ionin tavoin, eikä varauksen muuttaminen vaikuttanut Avogadrossa vetysidoksiin. Tämän takia atomin varauksen muuttaminen ei ollut mallinnuksen kannalta välttämätöntä. Lopullisessa ohjeessa vesimolekyylin elektronitiheyskartta päädyttiin kuitenkin katsomaan Edumol-sivustolta (www.edumol.fi), sillä elektronitiheyden laskeminen ei toiminut yhtä hyvin Spartanin uudemmassa versiossa.

Molemmat työohjeet jäivät melko suljetuiksi, lähimmäksi jäsenneltyä tutkimusta (ks. Windschitl, 2003). Mallinnuksen ohjetta olisi voinut jättää myös avoimemmaksi, mutta tällöin olisi pitänyt luottaa siihen, että opiskelijat löytävät molekyylimallinnusohjelman veden mallinnuksen kannalta hyödylliset ominaisuudet itse. Mallinnuksen ohjeet ja mallinnusohjelman käytön ohjeet järjestettiin kuitenkin niin, että mallinnusohjelman käytön ohjeet ovat erikseen mallinnuksen ohjeiden jälkeen. Tämän tarkoituksena oli vähentää mahdollisuutta siihen, että opiskelija suorittaa ohjeistetut toiminnot mekaanisesti ajattelematta mitä tekee.

4.5 Ensimmäinen kehittämistuotos

4.5.1 Töiden oppimistavoitteet

Kokeellisen työn tavoitteena on oppia veden laatuun vaikuttavista ioneista ja miten niiden pitoisuuksia voidaan mitata ionikromatografialla. Työssä on tarkoitus oppia myös muista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä kuten pH ja ymmärtää, että arjessa kohtaamamme vesi on oikeastaan homogeeninen seos. Mallinnuksen tavoitteena on, että opiskelija oppii miten nestemäisen veden ja jään rakenteet eroavat toisistaan, miten vesimolekyylit ja ionit

suhtautuvat toisiinsa sekä miten vetysidokset ja veden poolisuus vaikuttavat kyseisiin ilmiöihin. Sekä kokeellisen työn että mallintamisen tavoitteena on, että opiskelija kertailee vedestä oppimaansa ja ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla.

4.5.2 Kokeellinen työ

Kokeellinen työ jakaantuu neljään osaan, virittäytymiseen, taustatietoihin tutustumiseen, tutkimukseen ja koontiin. Sen sisältöihin kuuluu vedenlaatu ja erityisesti vedenlaatuun vaikuttavat ionit. Tutkittava näyte edustaa ioneja sisältävää vesiliuosta. Työn voi tehdä yksin tai pienissä ryhmissä, tosin käytännössä työ on tehtävä ryhmissä, jos tarkoituksena on, että kaikki ryhmän opiskelijat ehtivät käyttää ionikromatografiaa.

Virittäytymisessä opiskelijat lukevat lyhyen taustatarinan Virtasista ja heidän naapureistaan Lahtisista, jotka suosittelevat Virtasille kaivovetensä tutkimista ja vastaavat neljään virittäytymiskysymykseen: Voiko juomaveden laadun päätellä aistinvaraisesti?; Mitä vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä Virtasten kaivossa saattaa olla?; Onko ryhmänne vesinäyte puhdasta ainetta? ja Uskotko näytteen veden olevan juomakelpoista? Tämän tarkoituksena on, että opiskelija pohtii, mitä tietää jo aiheesta ja palauttaa mieleensä termin puhdas aine.

Taustatiedoissa kerrotaan ionikromatografian toiminnasta ja useiden ionien sekä happamuuden vaikutuksesta vedenlaatuun. Tutkimusosiossa opiskelijat mittaavat vuorollaan ohjaajan avustuksella tutkittavien anionien pitoisuudet ionikromatografilla. Sitä ennen tai sen jälkeen he täyttävät vesinäytteestä ja ionivaihdettua vettä olevasta vertailunäytteestä alkutietolomakkeen, etsivät netistä tutkittavien anionien ja happamuuden raja- tai suositusarvot ja vastaavat sen jälkeen kysymyksiin.

Alkutietolomakkeeseen täytetään, mistä näyte on otettu, sen aistein havaittavia ominaisuuksia ja pH-arvo, joka mitataan pH-paperilla. Tiedonhakutehtävään ohjeistetaan hakemaan tietoa veden kemiallisista laatuvaatimuksista, sillä oikeiden hakusanojen löytäminen voi muuten olla opiskelijoille turhauttavaa. Käytettyään ionikromatografia kukin ryhmä merkitsee näytteensä pitoisuudet taulukkoon luokan tietokoneelle. Tarkoituksena on, että opiskelija pohtii eroja näytteiden välillä ja tekee kysymyksiin vastatessaan päätelmiä tutkimuksen ja taustatietojen pohjalta.

Koonnissa taulukko näytetään kaikille opiskelijoille ja heidän tehtävänään on vertailla näytteitä ja tunnistaa, mikä näytteistä on ionivaihdettua vettä sekä tutkia, eroavatko muut näytteet toisistaan. Lopuksi keskustellaan siitä, miten ionivaihdettu vesi eroaa hanavedestä ja miksi ionivaihdettua vettä ei käytetä juomavetenä. Lisäksi palataan alun kysymykseen siitä, onko näyte puhdasta ainetta, pohtimalla milloin vesi on kemiallisesti puhdas aine ja milloin seos. Tarkoituksena on saada kokonaiskuva kaikkien ryhmien näytteistä. Lisäksi tarkoituksena suhteellistaa vierailun aikana saatua tietoa veden laadusta, jotta tieto siitä, että talousvedessä on muitakin aineita kuin vettä, ei vaikuta uhkaavalta ja varmistaa, että opiskelijat ymmärtävät miten käsitteet puhdas vesi ja puhdas aine eroavat toisistaan.

Jos tarkastellaan Pedaste et al. (2015) määrittämiä tutkimuksellisen opiskelun vaiheita, virittäytyminen kattaa vaiheen orientaatio ja aloittaa käsitteellistämisen, taustatietoihin tutustuminen jatkaa käsitteellistämistä, tutkimus kattaa tutkimusvaiheen ja aloittaa johtopäätöksiä ja koonti käsittää johtopäätösten jatkon ja pohdinnan, tässä tapauksessa tulosten esittämisen.

4.5.3 Mallinnus

Mallinnuksessa tarkastellaan vettä mikrotasolla. Tässä tulevat esille sidokset. Kun vesimolekyylien joukkoon lisätään ioni, tarkastellaan myös hydratoitumista, jota selitetään veden poolisuudella. Lisäksi tarkastellaan nestemäisen veden ja jään rakennetta. Työn voi tehdä yksin tai pienissä ryhmissä.

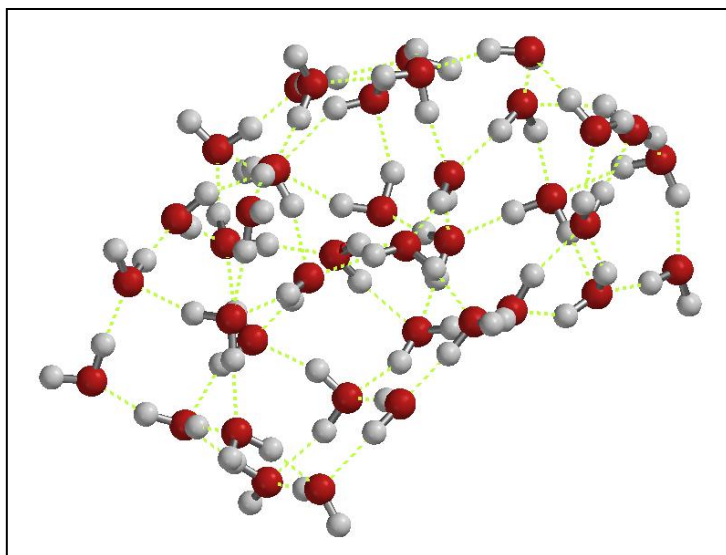
Mallinnus alkaa pohdinnalla siitä, miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla, minkä jälkeen opiskelijan on luotava mallinnusohjelmalla malli, joka kuvaa vettä. Mallin luotuaan opiskelija tekee sen avulla harjoituksia ja pohtii mallin oikeellisuutta pohdintaosuudessa.

Kysymykseen ”Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?” annetaan apukysymyksiksi pohtia, mitä atomeja, molekyylejä tai ioneja on läsnä, mitä sidoksia niiden välillä on ja miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen. Tavoitteena on, että opiskelija loisi tässä kohtaa mielessään aikaisempien tietojensa pohjalta hypoteesin, jota voisi myöhemmin verrata mallinnuksen tulokseen.

Mallinnus alkaa sillä, että opiskelija luo omatoimisesti mallin kuvastamaan vettä. Tämän tueksi annetaan ohjeet veden mallintamisessa tarvittaviin toimintoihin. Tarkoituksena on, että opiskelija tutustuu mallinnusohjelmaan ja tekee aikaisempien tietojensa pohjalta ratkaisuja siitä, millaisen mallin luo.

Harjoituksia on neljä. Ensimmäisessä opiskelija merkitsee vetysidokset näkyviin ja havainnoi, mitä tapahtuu energian minimoinnissa. Harjoituksessa pitäisi huomata, että vesimolekyylit asettuvat energian minimoinnissa niin, että niiden välillä on enemmän vetysidoksia.

Toisessa harjoituksessa verrataan syntynyttä rakennetta simulaatioon sulamisesta ja jäätymisestä, tarkoituksena tunnistaa, muistuttaako syntynyt rakenne enemmän nestemäisen veden vai jään rakennetta. Tällöin opiskelija pääsee havainnoimaan mallia, jossa on enemmän molekyylejä ja jossa nestemäisen veden malli liikkuu. Lisäksi tarkoituksena on huomata, että vaikka mallinnusohjelmaan on syntynyt selvä rakenne, joka voi vetysidosten kanssa vaikuttaa jäykältä (kuva 1), se ei kuitenkaan ole säännöllinen jään rakenne, vaan muistuttaa enemmän nestemäisen veden rakennetta.



Kuva 1: Vesimolekyylejä Spartanissa energia minimoituna ja vetysidokset näkyvissä

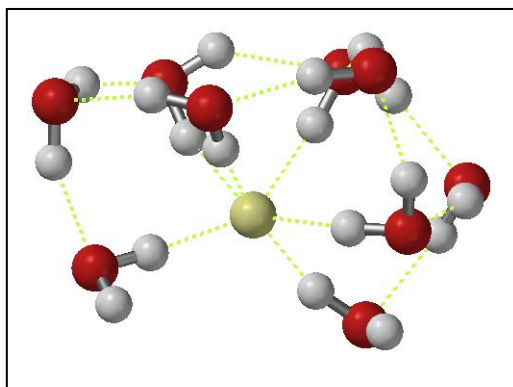
Kolmannessa harjoituksessa opiskelija havainnoi vesimolekyylejä ja eri ioneja mallinnusohjelman energian minimoinnissa. Tämä havainnollistaa ioniyhdisteiden liukenemista veteen. Tavoitteen on, että opiskelija huomaisi vesimolekyylien vetypuolen kääntyvän kohti anioneja ja happipuolen kohti kationeja.

Neljännessä harjoituksessa tarkastellaan vesimolekyylin elektronitiheyttä selityksenä sille, miksi näin on. Opiskelija, joka on jo käynyt läpi ioni-dipolisidoksen, voi osata nimetä sen sidokseksi vesimolekyylin ja ionin välillä. Opiskelija, joka ei ole käynyt läpi ioni-dipolisidosta, osaa todennäköisesti hyödyntää aikaisempia tietojaan sidoksista ja poolisuudesta selittääkseen molekyylien ja ionien käyttäytymisen.

Harjoitusten teon jälkeen opiskelijan on selitettävä harjoitusten avulla, miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen ja miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi. Ensimmäisen kysymyksen tarkoitus on muistuttaa opiskelijoita hydratoitumisesta ilmiönä. Toinen kysymys on haastavampi ja vaatii opiskelijoita yhdistämään mielessään mallit vesimolekyyleistä ja ioneista ja jäätymisestä ja päättämään, että ionit, joiden ympärille vesimolekyylien täytyy asettua, vaikeuttavat jään rakenteen muodostumista. Tarkoitus on saada opiskelija ajattelemaan, mihin harjoituksissa kuvatut ilmiöt liittyvät, tekemään mallien pohjalta johtopäätöksiä ja yhdistämään mallinnus makrotason ilmiöihin.

Pohdintaosuudessa opiskelijan on tarkoitus verrata tekemäänsä mallia ennakkokäsityksiinsä ja miettiä, miten hyvin mallinnuksessa luotu malli vastaa todellisuutta. Tarkoitus on myös auttaa opiskelijaa hahmottamaan, että kyseessä on nimenomaan malli, eikä absoluuttinen totuus ja antaa heille mahdollisuus osoittaa mallintamisohjelmassa mahdollisesti huomaamansa asiat, jotka eivät vastanneet heidän tietojaan kemiasta.

Spartan näyttää vedyn ja hapen, typen tai fluorin välisen sidoksen vetysidoksena. Siksi esimerkiksi fluori, josta ei lähde kovalenttisia sidoksia, eroaa ohjelmassa fluoridi-ionista siinä, että fluorin ja vedyn välinen sidos näkyy Spartanissa vetysidoksena (kuva 2), vaikka tässä tapauksessa mallinnetaan fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välistä ioni-dipolisidosta, joka on vetysidosta vahvempi. On siis mahdollista, että opiskelijat huomaavat mallinnusohjelman esittävän joitain asioita virheellisesti. Koska tämä voi herättää hämmennystä, on tärkeää, että opiskelijat tiedostavat mallinnusohjelman rajoitukset.



Kuva 2: Fluoridi-ionia mallintava fluori, josta ei lähde kovalenttisia sidoksia, ja vesimolekyyliä Spartanissa vetysidosten ollessa näkyvillä.

Eri opiskelijoiden pohdintaosuuteen käyttämä aika saa vaihdella sen mukaan, miten paljon aikaa heillä kuluu mallin rakentamiseen ja harjoituksiin. Koska mallien ominaisuuksien oppiminen ei ole virallisesti työn oppimistavoite, ei haittaa, vaikka pohdinta jäisi osalla opiskelijoista lyhyeksi.

Pedaste et al. (2015) vaiheista ”Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?” kattaa orientaation ja käsitteellistämisen. Jos mallinnus tehdään kokeellisen työn jälkeen, voi myös ajatella kokeellisen työn toimivan orientaationa mallinnukselle. Mallin rakentaminen ja harjoitusten teko kuuluvat tutkimukseen ja kysymykset harjoitusten perusteella johtopäätöksiin. Pohdinta on pohdinta, joka on tässä tapauksessa enemmän reflektiota.

4.5.4 Kehittämistuotoksen sisältöjen suhde lukion opetussuunnitelman

Sana ”vesi” ei esiinny kertaakaan vuoden 2003 tai vuoden 2015 lukion kemian opetussuunnitelmissa. On kuitenkin otettava huomioon, että lukion opetussuunnitelmissa myöskään muita yhdisteitä tai alkuaineita ei mainita tarkemmin kuin ryhminä, esimerkiksi orgaaniset yhdisteet tai metallit. (OPH, 2003; 2015) Työ käsittelee ja sivuaa kuitenkin useita vuosien 2003 ja 2015 lukion kemian opetussuunnitelmien 1. ja 2. kurssien tavoitteita ja keskeisiä sisältöjä. Vuoden 2015 uudessa opetussuunnitelmassa työ liittyy vahvemmin 1. kurssiin.

Vuoden 2003 opetussuunnitelmassa määritellään kemian 1. kurssin, ihmisen ja elinympäristön kemian, tavoitteiksi mm. että opiskelija syventää aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä kurssilla käsiteltävien asioiden yhteydessä ja tuntee erotus ja tunnistamismenetelmiä ja keskeisiksi sisällöiksi mm. erilaiset seokset, ainemäärä, pitoisuus ja orgaanisissa yhdisteissä esiintyvät sidokset sekä poolisuus. (OPH, 2003)

Kemian 2. kurssin, kemian mikromaailman, tavoitteiksi määritellään mm. että opiskelija osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä ja keskeisiin sisältöihin kuuluu kemiallinen sidos, sidosenergia ja aineen ominaisuudet. (OPH, 2003)

Vuoden 2015 opetussuunnitelmassa kemian 1. kurssi on kemiaa kaikkialla, jonka tavoitteisiin kuuluu mm. että opiskelija osaa tutkia kokeellisesti ja malleja käyttäen erilaisia kemian ilmiöitä ja keskeisiin sisältöihin kuuluu mm. aineiden ominaisuuksien selittäminen aineen rakenteen, kemiallisten sidosten ja poolisuuden avulla sekä aineen

erotusmenetelmät, aineiden ominaisuuksien tutkiminen, havainnointi ja johtopäätösten tekeminen. (OPH, 2015)

Kemian 2. kurssin, ihmisen ja elinympäristön kemian, tavoitteisiin kuuluu että opiskelija osaa käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa mallintamisen välineenä ja keskeisiin sisältöihin ainemäärä ja pitoisuus. (OPH, 2015)

5 Empiirinen ongelma-analyysi 2: 1. Kehittämistuotoksen arviointi

Työohjeet testattiin käytännössä kahdella lukiolaisryhmällä, joista toinen testasi vain kokeellisen osuuden. Suoritettuaan työn opiskelijat täyttivät kysymyslomakkeen. Lisäksi tietoa toiseen kehittämissykliin kerättiin havainnoimalla.

5.1 Kysely tutkimusmenetelmänä

Kyselytutkimusten etuina pidetään esimerkiksi sitä, että niiden avulla voidaan kerätä laaja tutkimusaineisto ja jos lomake on suunniteltu huolellisesti, aineiston nopeaa käsittelyä ja analysointia tietokoneen avulla. Kyselyn haittoina taas voidaan pitää esimerkiksi sitä, että ei ole mahdollista varmistua siitä, ovatko vastaajat pyrkineet vastaamaan huolellisesti ja rehellisesti ja miten hyvin he ovat perehtyneet asiaan, josta esitettiin kysymyksiä. Hyvän lomakkeen laatiminen on myös aikaa vievää ja vaatii tutkijalta tietoa ja taitoa, eikä tutkijalla aina ole tietoa siitä, miten onnistuneita annetut vastausvaihtoehdot ovat olleet vastaajien näkökulmasta. Lisäksi kato voi nousta suureksi. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 2009 s.195)

5.2 Havainnointi tutkimusmenetelmänä

Havainnoinnissa tutkija tarkkailee enemmän tai vähemmän objektiivisesti tutkimuksen kohdetta ja tekee havainnoinnin aikana muistiinpanoja tai kenttäraporttia (Metsämuuronen, 2006). Havainnointia on pidetty tieteiden yhteisenä ja välttämättömänä perusmenetelmänä. Havainnoinnin etu on se, että sen avulla saadaan välitöntä, suoraa tietoa yksilöiden, ryhmien tai organisaatioiden toiminnasta ja käyttäytymisestä. Havainnointimenetelmiä on kritisoitu eniten siitä, että havainnoija saattaa häiritä tilannetta. Tutkimuksen objektiivisuus voi myös kärsiä, jos tutkija sitoutuu emotionaalisesti ryhmään tai tilanteeseen. Lisäksi

havaintoja ei voi aina tallentaa välittömästi, jolloin tutkijan on luotettava muistiinsa. (Hirsjärvi et al., 2009 s.212-214) Havainnointi voi olla systemaattista havainnointia, jossa havainnoija on ulkopuolinen toimija tai osallistuvaa havainnointia, jossa havainnoija osallistuu ryhmän toimintaan (Hirsjärvi et al., 2004 s.203).

5.3 Kysymyslomake

Kysymyslomakkeessa on avo-, asteikko- ja monivalintakysymyksiä (ks. Hirsjärvi et al., 2009 s.198-200). Lomakkeen viimeinen kysymys on vapaa sana, jossa kehoitetaan täsmentämään aikaisempia vastauksia tai antamaan palautetta lomakkeesta. Tällä oli tarkoitus vähentää lomakkeen kysymysten muotoilusta aiheutuneita ongelmia.

Lomakkeesta tehtiin kaksi eri versiota, toinen ryhmälle, joka testasi sekä kokeellista työtä että mallinnusta ja toinen ryhmälle, joka testasi pelkän kokeellisen työn. Pelkän kokeellisen työn tehneiden opiskelijoiden lomake oli lyhyempi versio lomakkeesta, sillä siitä poistettiin kaikki mallinnusta erityisesti koskevat kysymykset.

Erehdyksessä molemmat ryhmät saivat kuitenkin lomakkeen, joka oli tarkoitettu vain kokeellisen työn tehneille opiskelijoille. Tästä syystä mallinnuksesta saatu tieto perustuu suurelta määrin havainnointiin. Lisäksi tästä aiheutui se, että opiskelijoiden aikaisemmasta kokemuksesta mallinnuksessa ei saatu tietoa ja toisen testiryhmän opiskelijoita ei pyydetty kertomaan erikseen kokeellisen työn ja mallinnuksen ohjeiden toimivuudesta.

Tutkimuksessa käytetyssä kysymyslomakkeessa oli seitsemän taustatietokysymystä ja 13 tutkimuskysymystä. Taustatietoina kysyttiin mitä kemian kurssia vastaaja suorittaa parhaillaan, mitä kursseja on jo suorittanut, hänen käyttämänsä oppikirjasarjaa, aikaisempaa kokemusta kokeellisesta työskentelystä, aikomusta kirjoittaa kemia ylioppilaskirjoituksissa, äidinkieltä ja sukupuolta. Äidinkieltä kysyttiin, jotta sen vaikutus avovastauksiin tulkitessa voitaisiin tarvittaessa ottaa huomioon. Tutkimuskysymyksissä kysyttiin, mitä vastaajat olivat oppineet työstä ja vastaajien mielipidettä opiskelutavasta ja työohjeen toimivuudesta.

5.4 Työohjeen testaaminen

Testaus tapahtui maaliskuussa 2016 Kumpulan kampuksella kemianluokka Gadolinissa kahden lukiolaisryhmän kahden tunnin opintokäynneillä. Vain kokeellista osaa testasi 4.3.2016 22 lukion 4. kurssilaista, joista kysymyslomakkeen täytti 17 ja kokeellista osaa ja mallinnusta 15.3.2016 15 lukion työkurssilaista, joista kaikki täyttivät kysymyslomakkeen.

Tutkija oli testauksessa läsnä yhtenä ohjaajana, ensimmäisessä testauksessa kokeellisessa työssä ja toisessa suurimman osan aikaa mallinnuksessa. Opiskelijat työskentelivät kolmen hengen ryhmissä.

5.4.1 1. testikerta

Ensimmäisessä testauksessa opiskelijat tekivät vain kokeellisen työn. Opiskelijat tekivät lisäksi kolme muuta kokeellista työtä samassa tilassa työpistetyöskentelynä. ”Mitä piilee talousvedessä?” –työn työpiste ruuhkautui loppua kohden, joten yksi ryhmä ei ehtinyt tehdä työtä loppuun. Aikatauluttamisessa tapahtuneen virheen takia työpistettä kohden oli varattu lyhyempi aika kuin mille työohje oli tarkoitettu. Tästä johtuen ”Mitä piilee talousvedessä?” -työhön ei kuulunut koontia, jossa opiskelijat näkisivät kaikkien tutkittujen vesinäytteiden anionipitoisuudet. Lisäksi ionikromatografilla ei saatu mitattua ionivaihdetun veden anionipitoisuuksia ja kahteen yritykseen kulunut aika oli pois muiden vesinäytteiden analysoinnista.

Yhdellä ryhmällä oli oma vesinäyte ja muut tutkivat vesinäytteenä Gadolinin hanavettä. Osa ryhmistä kävi läpi koontikysymykset ohjaajan kanssa tai itsenäisesti ja osalla ne jäivät välistä. Ajan säästämiseksi melkein kaikki ryhmät saivat tutkittujen anionien raja- ja suositusarvot valmiina. Kaikilla opiskelijoilla oli oma työmoniste.

Ryhmältä kerättiin 15 kokonaan täytettyä kysymyslomaketta, yksi lomake, jossa vastaaja oli jättänyt välistä yhden asteikkokysymyksistä ja yksi lomake, jossa vastaaja oli jättänyt vastaamatta viiteen viimeiseen kysymykseen. Yksi lomakkeista jouduttiin kuitenkin hylkäämään yhtä avovastausta lukuun ottamatta. Ryhmää ohjeistettiin ennen lomakkeiden täyttöä, että avokysymykseen saa vastata ”ei mitään” tai sen voi jättää tyhjäksi, jos siihen ei ole mitään sanottavaa.

5.4.2 2. testikerta

Opiskelijat tekivät työpistetyöskentelynä ionikromatografilla tehtävän kokeellisen työn, mallinnuksen samassa tilassa ja toisen kokeellisen työn. Työpisteille ei syntynyt ruuhkaa, mutta ionikromatografilla olisi ehtinyt ajan puitteissa analysoida vain neljä vesinäytettä. Viides ja viimeinen ryhmä sai näytteekseen ionivaihdettua vettä, jonka pitoisuudet olivat jo tiedossa, joten tuloksia ei tarvinnut odottaa, mutta koonti jäi tästä huolimatta lyhyeksi. Ryhmällä oli mukana yhteensä kolme näytettä ja lisäksi käytettiin Gadolinin hanavettä ja ionivaihdettua vettä.

Ryhmän oli tarkoitus oppia erityisesti kromatografiasta, joten kokeellisen työn teoriassa keskityttiin enemmän ionikromatografian toimintaan ja vertailunäytteitä ei ollut. Ionikromatografilla oli pääsääntöisesti yksi ryhmä kerrallaan, joten ryhmällä oli koko ajan ohjaajan huomio. Opiskelijoilla ei ollut omia työmonisteita, joten työmonisteen lomakkeita ei voitu täyttää. Ohjaajan mukaan sitä, millä muulla keinoilla veden puhtaudesta voisi päätellä jotain, käytiin läpi suullisesti.

Molekyyylimallinnuksessa oli kaksi ryhmää kerrallaan. Kolmen hengen ryhmää kohden oli vain yksi tietokone. Ryhmän opettaja osallistui myös mallinnukseen, joten molemmilla mallintavilla ryhmillä oli tarpeen vaatiessa ohjaaja neuvomassa. Tämä toisaalta tarkoittaa, että opiskelijoiden täysin itsenäisestä mallinnuksesta ei ole aineistoa. Mallinnuksen ohje oli sähköinen. Yksi ryhmä joutui jättämään mallinnuksen kesken harjoituksessa 4 aikataulun ja teknisten ongelmien takia.

Ryhmältä kerättiin 14 kokonaan täytettyä kyselylomaketta ja yksi lomake, jossa vastaaja oli jättänyt välistä yhden asteikkokysymyksistä. Vain osa opiskelijoista kuuli ohjeistuksen, että avokysymyksen voi jättää myös tyhjäksi. Kaikki vastaajat, paitsi viimeinen ryhmä ionikromatografilla, täyttivät kysymyslomakkeen ennen koontia, joten koonnin vaikutusta vastauksiin ei voida arvioida.

5.5 Vastaajat

Kaikki ensimmäiseen kyselyyn vastanneet opiskelijat suorittivat lukion 4. kurssia, olivat jo suorittaneet kurssit 1, 2 ja 3 ja aikoivat kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa. Heistä 13 vastasi, että kaikilla heidän suorittamillaan kursseilla on käytetty kokeellisia töitä säännöllisesti opiskelussa ja 4 vastasi tehneensä jonkin verran kokeellisia töitä.

Toiseen kyselyyn vastanneet opiskelijat suorittivat työkurssia ja heidän taustansa kemian opiskelun suhteen vaihteli enemmän. Vastaajista kahdeksan oli suorittanut kemian kurssit 1-4, neljä kurssit 1, 2 ja 4, kaksi kurssit 1 ja 4 ja yksi vain kurssin 1. Vastaajista kahdeksan aikoi kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa, neljä ei aikonut ja kolme ei tiennyt. Viisi vastaajaa vastasi tehneensä jonkin verran kokeellisia töitä, seitsemän vastasi, että ainakin osalla heidän suorittamistaan kemian kursseista on käytetty kokeellisuutta säännöllisesti opiskelussa ja kolme, että kaikilla heidän suorittamillaan kursseilla on käytetty kokeellisia töitä säännöllisesti opiskelussa.

Ryhmän opettaja kertoi, että hänen kursseillaan tehdään yleensä kokeellisia töitä 1-2 kertaa kurssissa. Koska lukion kemian kurssit on suoritettava järjestyksessä, voi olettaa, että opiskelijat, jotka olivat suorittaneet 4. kurssin, olivat kuitenkin käyneet 2. ja 3. kursseilla oppitunneilla, vaikka eivät olisikaan päässeet kokeesta läpi.

Molemmissa ryhmissä oli tasaisesti mies- ja naispuolisia opiskelijoita.

5.6 Vastausten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät

Kiire kysymyslomakkeita täyttäessä on voinut jättää vastauksia epätäydellisiksi ensimmäisellä testaajaryhmällä ja toisen ryhmän viimeisessä kolmen hengen ryhmässä. Koska asioita kysyttiin avokysymyksillä, saatiin tietään, mikä opiskelijoilla oli jäänyt päällimmäiseksi mieleen, mutta ei sitä, olivatko he mahdollisesti oppineet jotain muutakin, mitä eivät itse tiedostaneet tai tulleet ajatelleeksi vastaamishetkellä.

Moni oli antanut vain yhden vastauksen yhtä kysymystä kohden ja vastaukset joihinkin kysymyksiin vaihtelivat paljon opiskelijoiden välillä viitaten siihen, että opiskelijat olivat ajatelleet vastatessaan eri asioita kokeellisesta työstä tai toisessa ryhmässä osa kokeellista työtä ja osa mallinnusta. Toisessa testiryhmässä avovastaukset käsitelivät aina joko vain kokeellista työtä tai vain mallinnusta, vaikka osa vastaajista oli vastannut toisiin kysymyksiin kokeellisuuden ja toisiin mallinnuksen kannalta. Jotkut toisen testiryhmän opiskelijoista olivat liittäneet avovastausten loppuun ”ja muuta”, ”yms.” tai vastaavaa oletettavasti viitaten siihen, että heille tuli mieleen muitakin asioita, kuin vastauksessa mainitut yksi tai kaksi, tai he olettivat että tulisi.

Osa ryhmistä keskusteli keskenään täyttäessään lomakkeita. Aineistosta löytyi yksi kolmen lomakkeen ryhmä, joiden avovastaukset muistuttivat melko paljon toisiaan, joten niiden täyttäjät ovat saattaneet ottaa vaikutteita toisiltaan ja yksi kolmen lomakkeen ryhmä, jossa lomakkeissa oli samoja avovastauksia, tosin kaksi lomakkeista muistutti toisiaan enemmän kuin kolmas. Näidenkin lomakkeiden vastauksissa oli kuitenkin myös eroja, joten oletettavasti opiskelijat ovat vastanneet itsenäisesti ollessaan eri mieltä. Siksi vastaukset käsiteltiin itsenäisinä.

Muutaman lomakkeen avokysymysten vastauksissa mainittiin asioita, jotka liittyivät johonkin toiseen vierailulla tehtyyn kokeelliseen työhön. Yhdessä ensimmäisen testiryhmän lomakkeessa lähes kaikissa paitsi yhdessä avovastauksissa puhuttiin muista kokeellisista töistä, joten on todennäköistä, että vastaaja on myös asteikko- ja

monivalintakysymyksissä ajatellut kaikkia vierailulla tehtyjä töitä. Sama vastaaja oli myös antanut kahteen asteikkokysymykseen monta vastausvaihtoehtoa yhden sijaan, luultavasti ymmärtäen asteikon väärin, joten tämän lomakkeen luotettavuus ei ole yhtä suuri kuin muiden. Tästä syystä lomake jätettiin pois analyysistä lukuun ottamatta kysymystä ”Miten käsityksesi vedestä muuttui työn ansiosta?”, johon vastaaja oli vastannut oikeaan työhön liittyen. Ensimmäisestä ryhmästä on siis muissa kysymyksissä 16 vastaajaa.

Muista lomakkeissa muutamassa mainittiin ongelmasta toisessa vierailulla tehdyssä työssä kysyttäessä ongelmista työohjeessa ja yhdessä mainittiin oppimisen kohdalla, että vastaaja oli oppinut jotain toisesta vierailulla tehdystä työstä, mutta lomakkeissa käsiteltiin muuten johdonmukaisesti ”Mitä piilee talousvedessä?” –työtä, joten vastaukset otettiin mukaan analyysiin.

Kahta eri vastaajien avovastausta oli vaikea tulkita, koska vaikutti siltä, että vastaajilta oli jäänyt yksi tai useampi sana välistä. Vastaukset otettiin kuitenkin mukaan analyysiin siltä osin kuin niitä pystyi tulkitsemaan.

Lisäksi on otettava huomioon, että toisessa tutkimusryhmässä vastaajat ovat vastanneet kahden työn perusteella, eikä vastauksista voi aina päätellä, onko vastaaja ajatellut kokeellista työtä, mallinnusta vai molempia.

5.7 Kysymyslomakkeiden analysointi

Avovastaukset käytiin läpi ja kirjattiin ylös, minkä jälkeen oppimista, käsityksen vedestä muuttumista ja aikaisempien sisältöjen kertaamista ja syventämistä käsittelevien kysymysten vastaukset jaettiin luokkiin. Esimerkiksi vastaukset ”Vedessä olevia aineita voi tutkia nopeasti ja aika helposti” ja ”Miten eri aineiden pitoisuuksia voi määrittää vedestä” luokiteltiin molemmat veden tutkimisesta oppimiseen ja kerratuista tiedoista vastaukset ”anioneista ja kationeista”, ”anioneista” ja ”ionit” luokiteltiin kaikki ionien kertaamiseen. Vastaukset, joista mahdollisesti puuttui sanoja, luokiteltiin vain luokkiin, joihin niiden saattoi päätellä kuuluvan arvailematta puuttuvia sanoja.

Tämän jälkeen lomakkeiden tiedot syötettiin Helsingin yliopiston e-lomakkeeseen, jossa laskettiin asteikkokysymysten keskiarvot ja keskihajonnat ja suoritettiin tarpeen vaatiessa ristiintaulukointeja. Lisäksi taulukoitiin erikseen opiskelijoiden vastaukset asteikkokysymyksiin ja olivatko he jättäneet avokysymykset tyhjäksi vai antaneet

sanallisen vastauksen ja kuuluiko sanallinen vastaus ”ei mitään” –luokkaan. Poikkeavia lomakkeita tarkisteltiin tarvittaessa erikseen.

5.8 Mitä opiskelijat kokivat oppineensa

Oppimisesta oli kysymyslomakkeessa seitsemän kysymystä: avokysymykset ”Millaisia asioita opit työstä?” ja ”Miten käsityksesi vedestä muuttui työn ansiosta?” ja asteikkokysymykset ”Työ auttoi minua kertaamaan aikaisemmillä kursseilla opittuja tietoja”, ”Työ auttoi minua syventämään aikaisemmillä kursseilla opittuja tietoja” ja ”Työ auttoi minua yhdistämään veden mikrotason (= atomi- ja molekyyli- taso) ilmiöt veden käyttäytymiseen makrotasolla (= aistien havaittava taso)” asteikolla 1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä. Kertaamista ja syventämistä käsitteleviin asteikkokysymyksiin liittyi tarkennuskysymys ”Mitä?”.

Opiskelijat kertoivat oppineensa työssä veden tutkimisesta, työtapoja, veden ioneja tai sen, että vedessä on erilaisia aineita. Työssä kerratuista kemian sisällöistä mainittiin yleisemmin ionit, sidokset ja pH-arvot ja syventämisestä erotusmenetelmät.

Kysymyksessä ”Mitä opit työstä?” ensimmäisestä ryhmästä kuusi opiskelijaa viittasi veden tutkimiseen tai ionikromatografiaan, kaksi välineiden käyttöön, kaksi vedessä oleviin eri aineisiin ja kaksi siihen, että vesi ei ole puhdasta. Kolme vastaajaa jätti kohdan tyhjäksi, yksi vastasi, ettei oppinut ”kauheasti mitään, sillä työpisteellä oli kaksi ryhmää samanaikaisesti” ja yksi viittasi vastauksessaan toiseen vierailulla tehtyyn työhön.

Toisesta ryhmästä neljä opiskelijaa vastasi oppineensa ionikromatografiasta, kolme ”veden ioneja ja muita juttuja” ja viisi vastaajaa jätti kohdan tyhjäksi tai kertoi, ettei oppinut mitään. Loput kolme vastaajaa viittasivat kaikki kokeellisessa työssä sisältönä olleisiin veden pitoisuuksiin, mutta eri tavoilla. Kaksi kertoi oppineensa mitä vedessä voi olla ja yksi ”veden ominaisuuksista ja epäpuhtauksista”.

Kysymyksen ”Miten käsityksesi vedestä muuttui työn ansiosta?” vastauksissa käsiteltiin veden eri aineita ja vesien eroja. Ensimmäisestä testiryhmästä kolme opiskelijaa kertoi, että vedet eroavat toisistaan, yksi heistä mainiten erottavana tekijänä veden puhtauden. Kolme opiskelijaa kertoi ymmärtäneensä vedessä olevan erilaisia aineita, kaksi mainitsi, että vedessä voi olla hampaita syövyttäviä aineita ja yksi kertoi, että vedessä on paljon sulfaattia. Kaksi opiskelijaa vastasi, että vesi ei ole puhdasta.

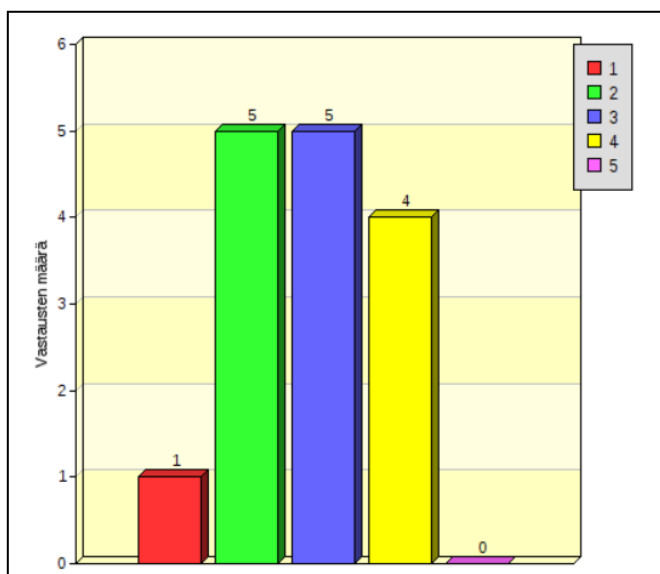
Maininnat hampaita syövyttävistä aineista voi jäljittää taustatarinaan, jossa hampaasta löytynyt läiskä havahdutti kaivoveden tutkimisen tarpeeseen, tarkoituksena johdattaa opiskelijat päättelämään, että vedessä on liikaa fluoridia. Maininta sulfaattista liittyy Gadolinin hanavedestä otettuun näytteeseen, jonka sulfaattipitoisuus hipoi suositusarvoa.

Kuusi opiskelijaa ensimmäisestä testiryhmästä vastasi, että heidän käsityksensä ei muuttunut tai jätti kohdan tyhjäksi. Yksi opiskelijoista, joka vastasi, ettei hänen käsityksensä muuttunut, täsmensi suullisesti, että käsitys ei muuttunut, koska hän tiesi työssä käsitellyistä asioista paljon ennestään.

Toisesta testiryhmästä neljä mainitsi veden erilaiset aineet, tosin yksi näistä oli puutteellinen vastaus, joten ei voida sanoa varmasti, missä kontekstissa vastaaja niihin viittasi. Kaksi vastaajaa mainitsi vesien erot ja kolme, että vesi ei ole puhdasta. Kuusi opiskelijaa vastasi, että heidän käsityksensä ei muuttunut tai jätti kohdan tyhjäksi.

Ensimmäisessä testiryhmässä asteikkokysymyksen ”Työ auttoi minua kertaamaan aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja”, keskiarvo oli 2,8 ja keskihajonta 0,85 (Vastaukset kaaviossa 1)

Kaavio 1: Ensimmäisen testiryhmän vastaukset kysymykseen ”Työ auttoi minua kertaamaan aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja”. Vastauksia on vain 15, sillä yksi opiskelija jätti vastaamatta kysymykseen.



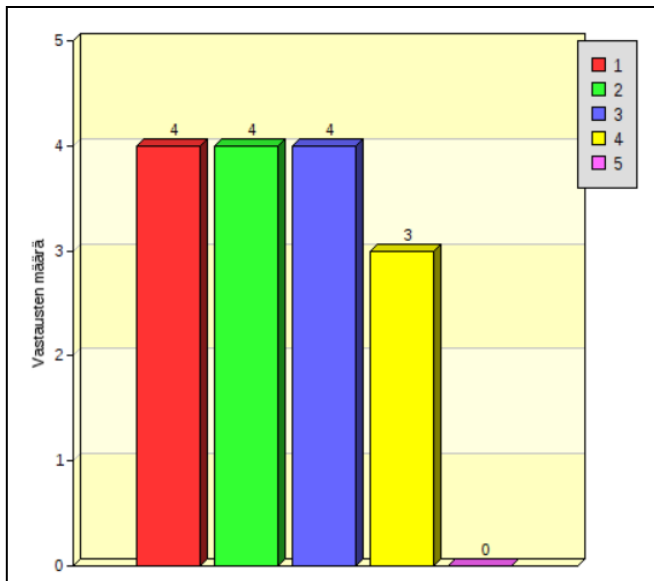
Yhdeksän opiskelijaa antoi esimerkin aiheesta tai aiheista, joita oli kerrannut. Kuitenkin kolme opiskelijoista, jotka vastasivat asteikkokysymykseen 2, antoi esimerkin ja yksi

opiskelija, joka vastasi 4, ei tarkentanut, mitä oli kerrannut. Kolme vastauksen 2 antanutta opiskelijaa oli antanut sanallisen vastauksen kuuteen seitsemästä avokysymyksestä, joten vastaamiseen on saattanut liittyä heillä tarve antaa vastaus mahdollisimman moneen avokysymykseen. Vastauksen 4 antanut opiskelija, joka ei määritellyt mitä oli kerrannut, ei ollut vastannut sanallisesti kuin yhteen avokysymykseen. Lisäksi yksi vastauksen 2 antanut opiskelija vastasi tarkentavaan avokysymykseen: ”Emme ole opiskelleet vesiasioita, mutta ioniasioita”, joten voi olla, että hänen mielestään työn pääasiat eivät kerranneet aikaisempaa. Kuusi opiskelijaa jätti kohdan tyhjäksi.

Yleisin vastaus siihen, mitä opiskelija oli kerrannut, liittyi ioneihin, jotka mainitsi kahdeksan opiskelijaa. Lisäksi kolme opiskelijaa mainitsi pH-arvot ja kaksi ruiskun käytön. Se, että ruiskun käytön mainitsi tässä kohdassa kaksi opiskelijaa, lisää todennäköisyyttä, että ruiskun käyttö on tullut vastaan joskus aiemminkin ja opiskelijoiden oli tarkoitus kertoa nimenomaan kerranneensa, eikä oppineensa, sitä.

Toisessa testiryhmässä saman kysymyksen keskiarvo oli 2,4 ja keskihajonta 1,08 (kaavio 2). Kymmenen vastaajaa antoi esimerkin aiheesta tai aiheista, joita oli kerrannut. Heidän joukossaan oli yksi vastaaja, joka oli vastannut asteikkokysymykseen 1 ja kaksi vastaajaa, jotka vastasivat 2. Näistä vastaajista yksi oli vastannut kaikkiin avokysymyksiin, mutta kaksi muuta eivät, vaan olivat jättäneet vastaamatta mm. syventämistä koskevaan avokysymykseen. Lisäksi kaksi vastauksen 2 antanutta opiskelijaa oli vastannut tarkentavaan avokysymykseen: ”En ole oppinut kovin paljon menetelmiä”. Tämän voi mahdollisesti tulkita esimerkiksi aiheesta, jota he eivät kerranneet, mutta mahdollisesti uskoivat, että työssä piti kerrata. Kolme vastaajaa jätti kohdan tyhjäksi.

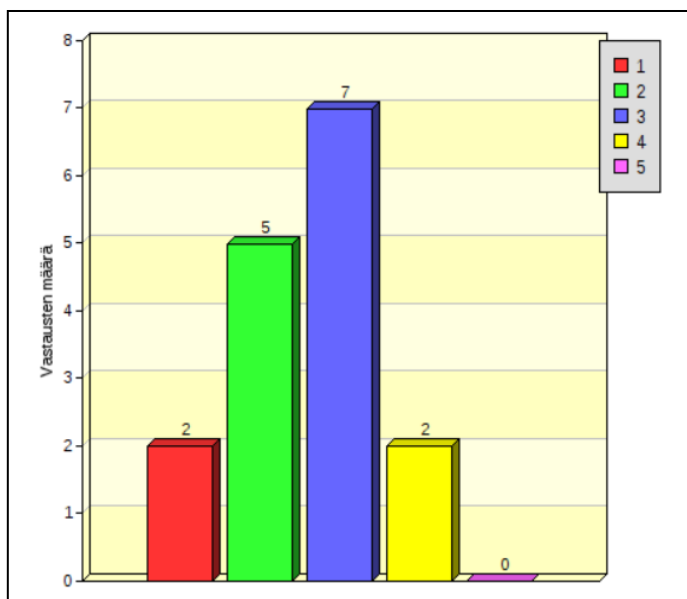
Kaavio 2: Toisen testityhmän vastaukset kysymykseen ”Työ auttoi minua kertaamaan aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja”



Kerratut aiheet olivat jakautuneet kokeelliseen työhön ja mallinnukseen. Neljä opiskelijaa kertoi kerranneensa ioneja (yksi näistä ionien nimet), neljä sidoksia (kaksi nimenomaan vetysidoksia ja yksi molekyylien välisiä sidoksia), kaksi kromatografiaa ja yksi veden ominaisuuksia. Lisäksi yksi opiskelija oli vastannut ”Tislatusta vedestä opin jotain”.

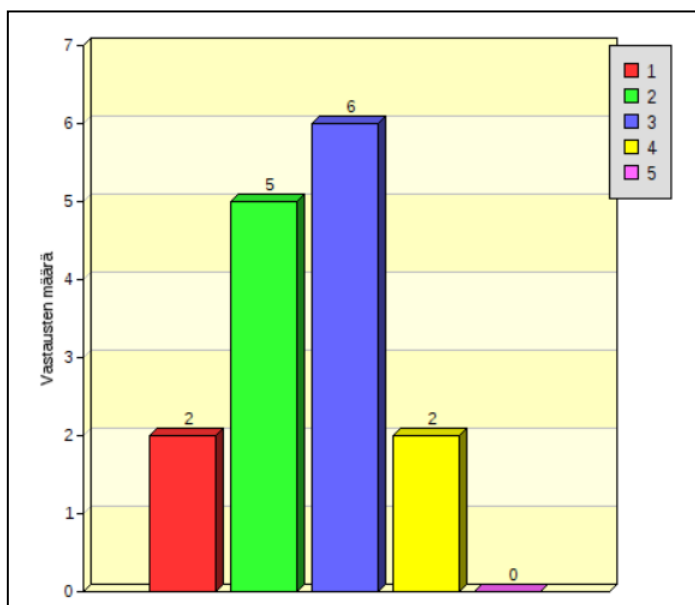
Asteikkokysymyksen ”Työ auttoi minua syventämään aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja” keskiarvo oli ensimmäisessä testiryhmässä 2,6 ja keskihajonta 0,84 (kaavio 3). Syvennetyistä aiheista annettiin harvempia esimerkkejä. Kolme opiskelijaa mainitsi erotusmenetelmät, yksi ionit ja yksi, joka oli kerrannut ruiskun käyttöä vastasi ”ilma on huono asia näytteessä”, liittyen myös ruiskun käyttöön. Kaikki erotusmenetelmät maininneet opiskelijat mainitsivat ionikromatografian käytön oppimista koskevassa kysymyksessä.

Kaavio 3: Ensimmäisen testiryhmän vastaukset kysymykseen ”Työ auttoi minua syventämään aikaisemmillä kursseilla opittuja tietoja”



Toisessa testiryhmässä saman kysymyksen keskiarvo oli 2,5 ja keskihajonta 0,89 (kaavio 4). Vain kolme opiskelijaa antoi esimerkkejä syventämistään aiheista. Esimerkit olivat sidokset, kromatografia ja veden eri epäpuhtaudet. Sidokset maininnut opiskelija oli vastannut kerranneensa molekyylien välisiä sidoksia.

Kaavio 4: Toisen testiryhmän vastaukset kysymykseen ”Työ auttoi minua syventämään aikaisemmillä kursseilla opittuja tietoja”



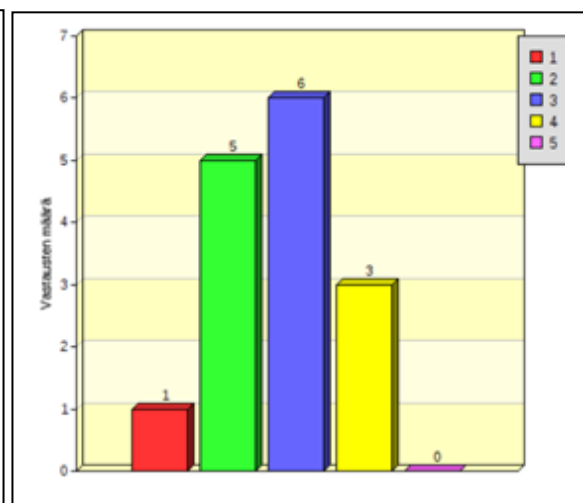
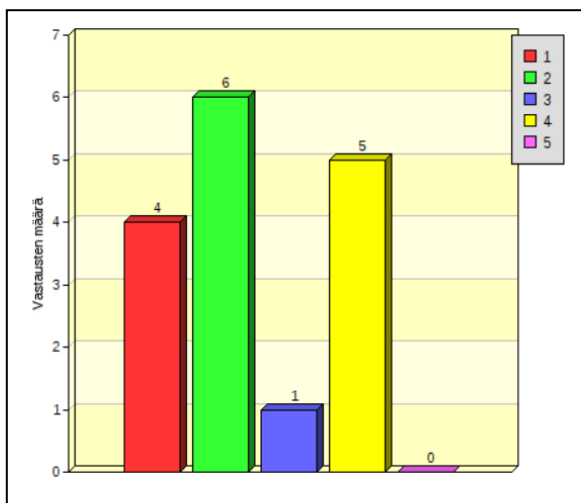
Osa opiskelijoista osasi siis yhdistää kokeellisen työn aikaisempien kurssien asiaan, mutta monivalintavastausten perusteella kaikki heistä eivät pidä kertaamistaan tai syventämistään kovin merkittävänä tai osaa sanoa, kuinka paljon kertasivat tai syvensivät mainitsemiaan aiheita. On myös huomattava, että seitsemän opiskelijaa ensimmäisestä testiryhmästä ja kolme toisesta ei nimennyt yhtään kerrattua tai syvennettyä aihetta.

Toisessa testiryhmässä, jossa ionikromatografian käyttöön oli keskitytty enemmän, ionikromatografian tai erotusmenetelmät mainitsi kuusi opiskelijaa, kun taas ensimmäisessä testiryhmässä ne mainittiin kolmessa lomakkeessa. Samoin ainoastaan ensimmäisessä testiryhmässä, jossa kokeelliseen työhön kuului pH-arvon mittaaminen, pH mainittiin kerratuissa aiheissa.

Asteikkokysymys ”Työ auttoi minua yhdistämään veden mikrotason (= atomi- ja molekyyli- taso) ilmiöt veden käyttäytymiseen makrotasolla (= aistein havaittava taso)” jakoi ensimmäisen testiryhmän opiskelijoita selvästi eniten. Vain yksi opiskelija oli vastannut tähän kysymykseen 3. Keskiarvo oli 2,4 ja keskihajonta 1,17. (Kaavio 5)

Toisessa testiryhmässä vastaukset olivat painottuneet selvästi enemmän asteikon keskelle ja kuusi opiskelijaa oli vastannut 3. Keskiarvo oli 2,7 ja keskihajonta 0,85. (Kaavio 6)

Vasemmalla kaavio 5: Ensimmäisen testiryhmän vastaukset kysymykseen ”Työ auttoi minua yhdistämään veden mikrotason (= atomi- ja molekyyli- taso) ilmiöt veden käyttäytymiseen makrotasolla (= aistein havaittava taso)”. Oikealla kaavio 6: Toisen testiryhmän vastaukset samaan kysymykseen



5.9 Opiskelijoiden mielipiteet opiskelutavasta

Opiskelutavasta oli lomakkeessa neljä kysymystä: asteikkokysymykset ”Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä” ja ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla” asteikolla 1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä sekä jälkimmäiseen tarkentava kysymys ”Miten?” ja monivalintakysymys ”Kokeellisen työn ohje oli... liian avoin/sopiva/liian tarkasti työtä rajaava”.

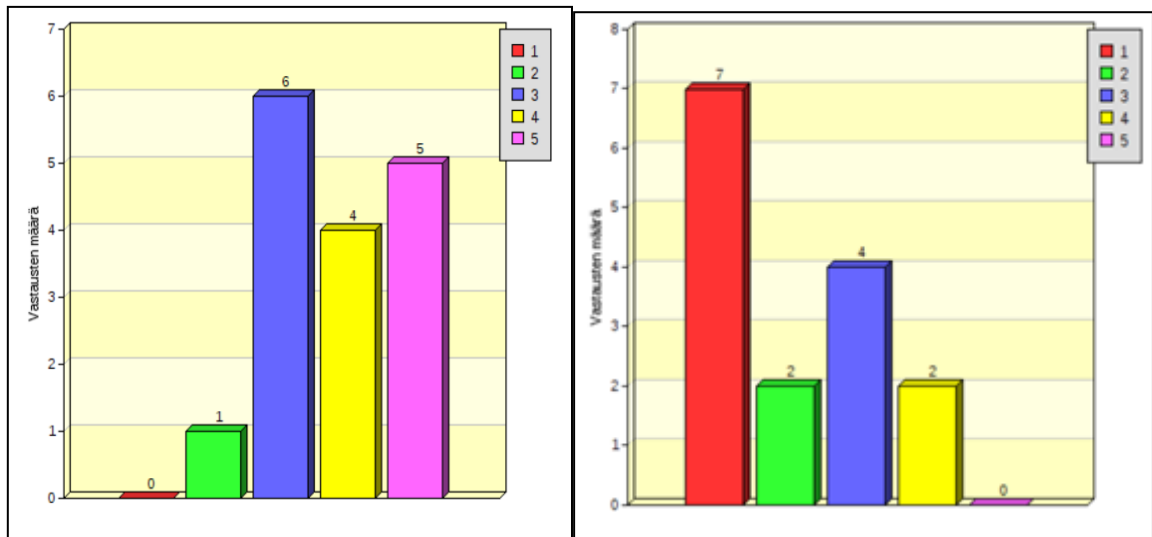
Opiskelijoiden vastauksia opiskelutapaa koskeviin kysymyksiin ei voi käyttää suoraan kertomaan työohjeesta, sillä kummallakaan testikerralla toteutettu kokeellinen työ ei ollut yhtä tutkimuksellinen kuin työohje. Ensimmäisellä kerralla koonti jäi toteutumatta, joten osalta ryhmistä työstä puuttui pohdintavaihe kokonaan. Toisella kerralla ainakin osalta ryhmistä jäi väliin orientaatio ja opiskelijoiden omille selityksille jäi vähemmän aikaa kuin ensimmäisessä ryhmässä.

Opiskelijat ovat myös saattaneet ymmärtää termit ”tutkimuksellinen” ja ”kokeellinen” samaksi asiaksi, sillä vain kokeellisen työn tehneiden opiskelijoiden kysymyslomakkeessa puhuttiin tarkennuksessa vain työstä, ei kokeellisesta työstä.

Monivalintakysymyksen muotoilu oli sikäli epäonnistunut, että siinä ei ollut mahdollisuutta valita vaihtoehtoa ”en osaa sanoa”, joten osa vastaajista on voinut käyttää vaihtoehtoa ”sopiva” sen sijaan. Lisäksi toisella ryhmällä ei ollut mahdollisuutta valita kokeellisen työn ja mallinnuksen ohjeen avoimuutta erikseen, joten vaikka kysymyksessä puhuttiin kokeellisesta työstä, vastaajat ovat voineet vastatessaan ajatella kokeellista työtä, mallinnusta tai molempia.

Kysymyksen ”Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä” keskiarvo ensimmäisessä testiryhmässä oli 3,8 ja keskihajonta 0,95 (kaavio 7). Kysymyksen ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla” keskiarvo oli 2,1 ja keskihajonta 1,09 (kaavio 8). Kolme vastaajaa antoi molempiin oppimistapaa käsitteleviin asteikkokysymyksiin vastauksen 3.

Vasemmalla kaavio 7: Ensimmäisen testiryhmän vastausten jakauma kysymykseen ”Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä”. Oikealla kaavio 8: Ensimmäisen testiryhmän vastausten jakauma kysymykseen ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla”. Jälkimmäiseen kysymykseen on vain 15 vastausta, sillä yksi vastaaja jätti lomakkeen tyhjäksi tästä kysymyksestä alkaen.

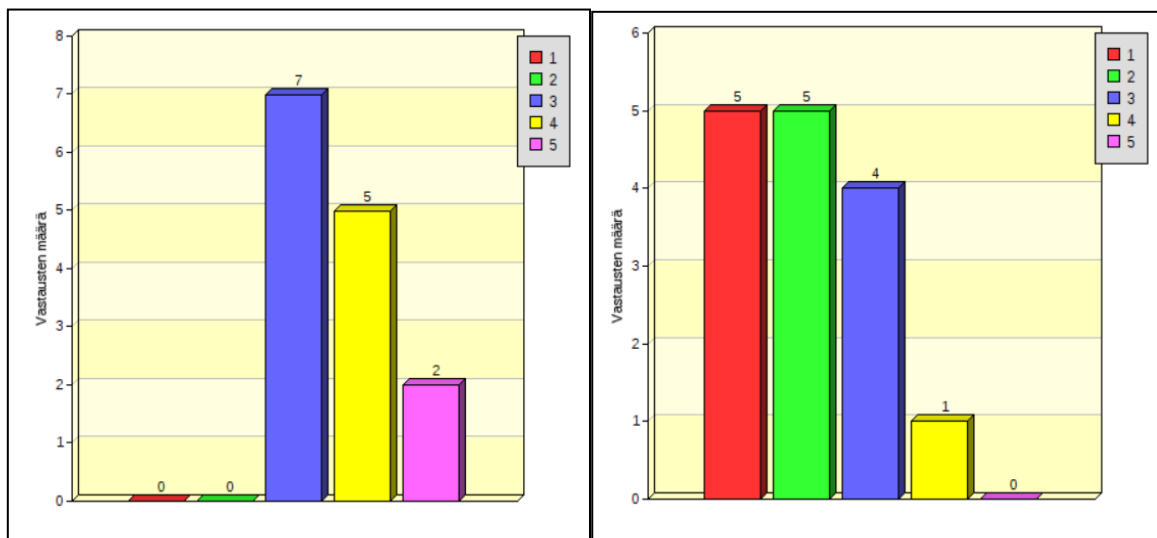


Kolme opiskelijaa antoi esimerkin siitä, millä muulla tavalla olisivat halunneet opiskella työssä käytyjä asioita. Kuitenkin heistä yksi antoi asteikkokysymykseen ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla” vastauksen 2, toinen 3 ja kolmas 4. Toinen vastaajista, joka oli antanut vastauksen 4, ei täsmentänyt, miten olisi sen sijaan halunnut opiskella, vaikka oli antanut sanallisen vastauksen kaikkiin muihin avokysymyksiin.

Vastauksen 2 antanut opiskelija oli antanut muiksi opiskelutavoiksi lukemalla ja piirtämällä, tosin asteikkokysymyksen vastauksen takia on epäselvää, miten paljon hän olisi halunnut käyttää kyseisiä opiskelutapoja. Opiskelija, joka vastasi asteikkokysymykseen 3, antoi muuksi tavaksi teoreettisen opiskelun ja opiskelija, joka vastasi 4, oman vesinäytteen. Kyseinen vastaaja myös vastasi opiskelutavan mielekkyyttä koskevaan asteikkokysymykseen 2, mikä oli asteikkokysymysten vastausten kielteisin palaute opiskelutavasta. Kaikki vastaajat vastasivat työohjeen olleen sopiva.

Toisessa testiryhmässä kysymyksen ”Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä” keskiarvo 3,6 ja keskihajonta 0,69 (kaavio 9). Kysymyksen ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla” keskiarvo oli 2,1 ja keskihajonta 0,93 (kaavio 10). Kolme vastaajaa oli antanut molempiin kysymyksiin vastauksen 3. Kukaan ei antanut esimerkkiä siitä, millä muulla tavalla olisi halunnut opiskella.

Vasemmalla kaavio 9: Toisen testiryhmän vastausten jakauma kysymykseen ”Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä. Oikealla kaavio 10: Toisen testiryhmän vastausten jakauma kysymykseen ”Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla”. Ensimmäiseen kysymykseen on vain 14 vastausta, sillä yksi vastaajista jätti vastaamatta kysymykseen.



Vastaajista 13 vastasi työohjeen olleen sopiva ja 2 liian avoin. Toinen työohjetta liian avoimena pitävistä tarkensi seuraavassa kysymyksessä viittaavansa mallinnukseen.

Muuta palautetta kohtaan tuli muutama opiskelutapaa koskeva vastaus molemmissa ryhmissä. Yhteensä kuusi opiskelijaa kertoi, että töiden tekeminen oli hauskaa tai että vierailulla oli mukavaa. Yksi opiskelija vastasi töiden olleen hyvä tapa opettaa ja yksi opiskelija, että työt olisivat voineet olla mielenkiintoisempia.

Vastausten perusteella useimmat opiskelijat olivat kohtalaisen tyytyväisiä opiskelutapaan, mutta niistä ei voi päätellä, mihin he olivat tyytyväisiä tai olisiko suurempi tai pienempi tutkimuksellisuuden aste ollut parempi. On myöskin huomioitava vierailun mahdollinen

uutuudenviehätys, vaikka varsinkin ensimmäisen tutkimusryhmän opiskelijat olivat vastausten mukaan tehneet kokeellisia töitä säännöllisesti ja toisen tutkimusryhmän opiskelijat suorittivat työkurssia ja olivat käyneet vierailulla jo aikaisemmin kurssin aikana, sekä se, että opiskelijat voivat pitää kokeellisista töistä enemmän kuin muista työtavoista.

Kielteisimpään palautteeseen liittynyt parannusehdotus on samansuuntainen kuin työohje, sillä kokeellisessa työssä on tarkoitus käyttää useampaa vesinäytettä, vaikka yhden vesinäytteen analysointiin kuluva aika asettaakin rajan vesinäytteiden määrälle. Opiskelijoita oli kehoitettu tuomaan vierailuille omia vesinäytteitä, vaikka ensimmäisessä testiryhmässä vain yksi opiskelijoista teki näin. Loput ryhmät joutuivat, osittain ionivaihdetun veden analysoinnissa syntyneen ongelman takia, jakamaan saman vesinäytteen. Omaa vesinäytettä ehdottanut opiskelija kuului todennäköisesti viimeisiin ryhmiin, jotka käyttivät vesinäytettä samanaikaisesti, sillä hän mainitsi myös tilanpuutteen.

5.10 Töiden toimivuus

Työn toimivuudesta oli muihin aihepiireihin sisältyvien kysymysten lisäksi kysymys: ”Oliko kokeellisessa työssä jotain, mikä ei toiminut? Miksi?”. Ensimmäisessä testiryhmässä yleisin palaute opiskelijoilta työn toimivuuden suhteen oli, että ionivaihdetun veden anionipitoisuuksia ei saatu mitattua. Tämän mainitsi kyselylomakkeessa kuusi opiskelijaa, joista kolme mainitsi myös siitä, että työhön liittyvien lomakkeiden täyttämiseen meni aikaa tai että niitä oli liikaa. Lisäksi yksi opiskelija mainitsi, että aikaa oli liian vähän ja yksi, että tilaa oli liian vähän.

Toisessa testiryhmässä ainoa palaute työn toimivuuteen oli se, että mallinnuksen ohjeet molekyylien muodostamiseen olivat liian puutteelliset opiskelijalle, joka ei osaa käyttää ohjelmaa.

Ensimmäisen testauksen ohjaajat pitivät uutta työohjetta toimivampana kuin alkuperäistä, mutta totesivat sen vaativan selvästi enemmän aikaa kuin alkuperäiselle työohjeelle asetettu minimi 30 minuuttia.

5.10.1 Kokeellinen työ

Koska kokeellisen työn ohjetta ei ollut suunniteltu työpistetyöskentelyyn, se ei sopinut siihen täysin. Lähinnä ongelmia aiheutti ajan loppuminen, sillä etenkin ensimmäisellä testauskerralla yhdelle työpisteelle oli varattu vähemmän aikaa kuin mitä kaksi ryhmää

tarvitsi työn suorittamiseen. Lisäksi ohjaajien käytäntö tulostaa kustakin työohjeesta vain muutama kappale, joita pisteellä olevat opiskelijat käyttävät vuorotellen, tarkoittaa, että opiskelijat eivät voi tehdä merkintöjä työohjeisiin.

Havaintojen perusteella ensimmäisen testiryhmän ryhmien osallistuminen tehtävään vaihteli. Osa ryhmistä pohti työohjeen kysymyksiä keskenään, mutta varsinkin viimeisissä ryhmissä, jotka jakoivat samat näytteet, osa opiskelijoista lähinnä seurasi yhtä kirjuria.

Ionikromatografian ruuhkautuminen ensimmäisen testauksen lopussa aiheutti sen, että opiskelijoista tuli liian iso ryhmä, jossa sitoutuminen työhön oli selvästi heikompaa. Tähän on saattanut vaikuttaa myös se, että työ oli näille opiskelijoille viimeinen kolmesta, jolloin heidän keskittymiskykynsä ei välttämättä ollut enää yhtä hyvä. Viimeisissä ryhmissä opiskelijat myös lukivat työohjetta vähemmän, vaikka siihen olisi ollut odotellessa aikaa. Yhteinen koonti tai ohjaajan varmistus, että työn tärkeimmät asiat ovat tulleet ymmärretyiksi voi siis olla tarpeen myös siksi, että opiskelijoiden oma-aloitteisuus kysymysten pohtimisessa vaihtelee.

Virittäytymiskysymyksiin syventyneistä ryhmistä osa antoi kysymyksiin perusteltuja vastauksia, kun taas osa vastasi kysymyksiin melko nopeasti ja harkitsematta. Havaintojen perusteella opiskelijoiden keskustellessa virittäytymisosan kysymyksissä siitä, voiko veden laatua päätellä aistinvaraisesti, he käyttivät mielipiteidensä tukena omaa kokemusta tai asioita, joita olivat oppineet muualta kuin koulusta, esimerkiksi vanhempien työn kautta, vaikka molemmilla testaajaryhmillä oli käytössä oppikirjasarja, jossa käsiteltiin talousveden laatua lisätiedoissa.

Lukuun ottamatta yhtä vastaajaa, joka vastasi syvennetyissä tiedoissa veden eri epäpuhtaudet, kukaan heistä ei myöskään maininnut vedenlaatua kerratuissa tai syvennetyissä tiedoissa ja yksi opiskelija jopa mainitsi vastauksessaan, että ei ole opiskellut vesiasioita. Ilmeisesti opiskelijat eivät siis ole 1. kurssilla käyneet läpi lisätietosivuja tai niihin liittyvää kaivovesitutkimusta tai se ei ole jäänyt opiskelijoille mieleen niin pitkäksi aikaa, että he muistaisivat sen vielä seuraavana vuonna.

Havainnoidussa ensimmäisessä testiryhmässä taustatietojen lukemiseen ja alkutietolomakkeiden täyttööseen käytetty aika vaihteli. Osa opiskelijoista oli epävarmoja joidenkin veden ominaisuuksien, kuten tahraavuuden tai pinnalla olevan kalvon

havaitsemisen suhteen. Osa ryhmistä tarvitsi ohjaajan apua pH:n mittaamisessa ja tahraavuuden testaamisessa, joihin ei ollut työohjeessa tarkempia ohjeita.

Ionikromatografian antamien tulosten tulkinta oli joillekin havainnoidun ryhmän opiskelijoille vaikeaa, jos he olivat perehtyneet heikosti taustatietoihin, eivätkä tienneet, miksi eri ionien pitoisuuksia tutkitaan tai miksi niitä on talousvedessä. Kaikki eivät myöskään osanneet vastata siihen, voisiko vesinäytteestä päätellä jotain alkutietojen perusteella, vaikka olisivatkin täyttäneet alkutietolomakkeen tai jaksaneet perehtyä tutkimusosan kysymyksiin täytettyään alkutietolomakkeen. Ainoa ryhmä, joka etsi veden kemialliset laatuvaatimukset netistä, onnistui löytämään oikeat tiedot.

5.10.2 Mallinnus

Mallinnuksen ohje sopi työpistetyöskentelyyn, vaikka sitä ei ollut suunniteltu siihen. Käytännön rajoitteet liittyivät lähinnä siihen, kuinka monta tietokonetta saa Gadolinissa yhtä aikaa Internet-yhteyteen.

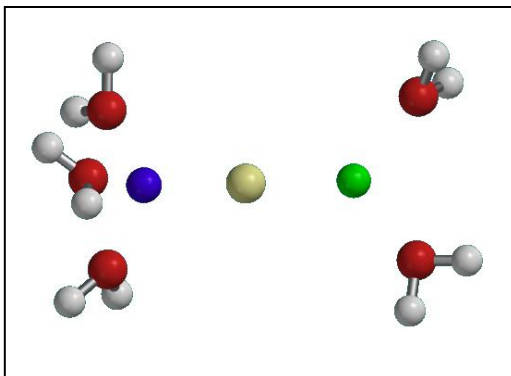
Havaintojen perusteella mallinnus toimi kolmen hengen ryhmässä ja useimmissa ryhmissä kaikki opiskelijat osallistuivat aktiivisesti toimintaan. Opiskelijat, jotka lukivat mallinnuksen ohjeet, onnistuivat yleensä tekemään harjoitukset ongelmitta. Ongelmia syntyi, jos opiskelijat eivät lukee tai ymmärtäneet ohjeita ohjelman käyttöön. Jos opiskelijat eivät muistaneet, mitä harjoitusten ohjeissa mainitut kemian käsitteet tarkoittavat, ohjeiden väärin käsittämisen mahdollisuus kasvoi.

Työohjeen kohta: ”Luo malli, joka kuvaa vettä. Jatka sen jälkeen harjoituksiin.” oli joillekin opiskelijoille hämmentävä sen suhteen, minkälainen malli pitää rakentaa ja koska se on valmis. Ryhmän, joka tuli mallinnukseen ionikromatografian jälkeen, oli helpompi muodostaa kuva siitä, minkälaisen mallin he halusivat.

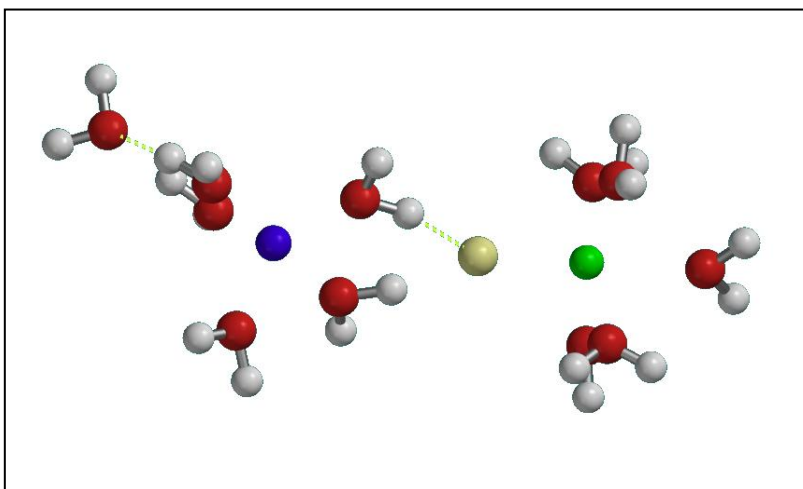
Sähköisen ohje ja mallinnusohjelma eivät mahtuneet näytölle auki yhtä aikaa ja niiden välillä siirtyminen hankaloitti ohjeiden lukemista vaikka toisaalta helpotti siirtymistä linkkien avulla tarvittaville verkkosivuille. Mallinnusohjelman käytön ohjeista paperilla olisi saattanut olla helpompi seurata pidempiä ohjeita ja havaita yhdellä vilkaisulla, miten pitkälle ohjeet jatkuvat.

Kolmannessa harjoituksessa ongelmana oli, että tutkittaessa vesimolekyylien ja ionien suhtautumista toisiinsa opiskelijoilla saattoi olla ruudulla liian vähän vesimolekyyliä suhteessa ioneihin, jolloin mallinnus ei toiminut yhtä hyvin (kuva 3). Vesimolekyylien

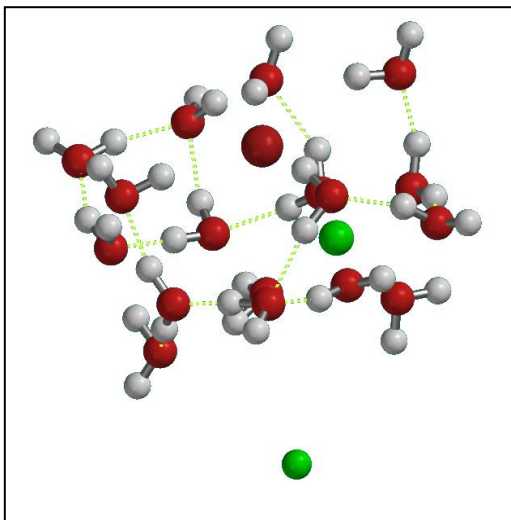
lisääminen malliin auttaa tilannetta (kuva 4). Ioni saattaa myös ”karata” energian minimoinnissa, jos sitä ei aseteta vesimolekyylien keskelle (kuva 5).



Kuva 3: Vasemmalta oikealle magnesium-, fluoridi- ja rauta-ionit ja viisi vesimolekyyliä Spartanissa vetysidokset näkyvissä. Ionit ovat asettuneet riviin. Havaittavissa, että vesimolekyylin negatiivisesti osittaisvarautunut pää kääntyy kohti positiivisesti varautunutta ionia, mutta fluoridi-ionin ja veden vuorovaikutusta ei voi havainnoida. Ohjelma ei havaitse vetysidoksia.

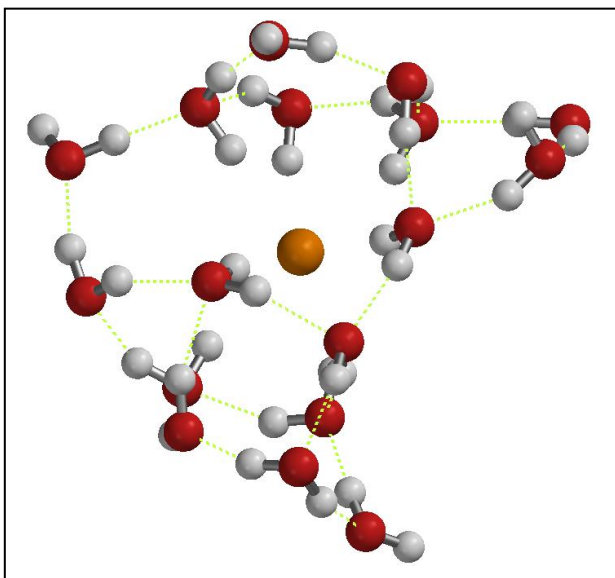


Kuva 4: Sama malli, johon on lisätty kuusi vesimolekyyliä. Fluoridi-ionin ja vesimolekyylien vaikutus havaittavissa paremmin. Vetysidoksia näkyy vain yksi vesimolekyylien välillä ja toinen vesimolekyylin ja fluoridin välillä.

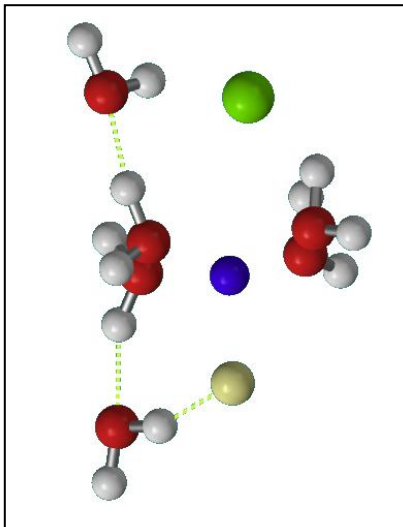


Kuva 5: Bromidi- ja kupari-ionit vesimolekyylien ympäröimänä ja ”karannut” mangaani-ioni Spartanissa. Vetysidokset näkyvissä.

Varmin tapa tutkia ionien ja vesimolekyylien suhdetta olisi sijoittaa yksi ioni monen vesimolekyylin keskelle (kuva 6). Kaikki mallintavat ryhmät halusivat kuitenkin testata useita ioneja kerrallaan. Toisaalta halutut suhteen voivat tulla näkyviin, vaikka vesimolekyyliä ei olisikaan kovin paljon ioneja enemmän (kuva 7).



Kuva 6: Kloridi-ioni ja seitsemäntoista vesimolekyyliä (vetysidokset näkyvissä) Spartanissa. Havaittavissa selvästi, että vesimolekyylin positiivisesti osittaisvarautunut pää kääntyy negatiivisesti varautunutta ionia kohti.



Kuva 7: Ylhäältä alas: kloridi-, magnesium- ja fluoridi-ionit ja kuusi vesimolekyyliä (vetysidokset näkyvissä) Spartanissa. Vaikka ionit ovat asettuneet jonoon, kuvasta voi selvästi havaita, että vesimolekyylien negatiivisesti osittaisvarautunut pää suuntautuu kohti positiivista ionia ja positiivisesti osittaisvarautunut pää kohti negatiivisia ioneja.

Lisäksi yhdellä ryhmällä oli vaikeuksia löytää vetysidoksia oikeasta valikosta ja kaksi opiskelijaa, jotka eivät puhuneet äidinkielenään suomea, eivät ensin ymmärtäneet sanaa vesijohtovesi. Yhdellä ryhmistä oli hankaluuksia Edumol-sivustoa käyttäessä, mutta ei ole tiedossa, johtuivatko ongelmat käyttäjien virheistä vai tilapäisestä ongelmasta verkkosivulla.

Koska viidestätoista opiskelijasta vain yksi kertoi kysymyslomakkeessa pitäneensä ohjeita liian puutteellisina ja kukaan ei antanut palautetta, että ohjelma olisi ollut liian vaikea käyttää, ohjelmaa ja sen ohjeita on ilmeisesti kuitenkin pidetty melko selkeinä ja helppokäyttöisinä.

Opiskelijoiden tekemissä malleissa oli yleensä melko vähän vesimolekyyliä, noin 5-10. Ensimmäisessä harjoituksessa kaikki ryhmät havaitsivat, että vetysidosten määrä kasvoi energian minimoinnin yhteydessä. Useimmat opiskelijat muistivat, mikä vetysidos on. Yhdellä ryhmällä oli kuitenkin vaikeuksia, sillä kukaan sen jäsenistä ei muistanut.

Toinen harjoitus oli opiskelijoille helppo ja kaikki ryhmät tunnistivat, että heidän luomansa molekyylimalli muistuttaa nestemäisen veden rakennetta. Kysyttäessä perustelu oli, että rakenne ei ole yhtä säännöllinen kuin jään rakenne.

Kolmannessa harjoituksessa kaikki ryhmät havaitsivat jonkin suhteen vesimolekyylien ja ionien välillä, vaikka osalla oli vaikeuksia vesimolekyyli-ioni-suhteen tai fluoridi-ionin kanssa. Yksi ryhmistä kasvatti tässä vaiheessa mallinsa molekyylien ja ionien määrää Spartanin kopioinnilla ja liittämällä kopioimalla kaiken, kun ohjaaja oli kertonut heille, että mallissa on liian vähän vesimolekyyliä, jotta ne voisivat reagoida kaikkien mallin ionien kanssa.

Osa opiskelijoista osasi selittää suoraan, mistä vesimolekyylien käytös johtui. Ne jotka eivät osanneet, osasivat tehtyään neljännen harjoituksen, jossa tarkasteltiin vesimolekyylin elektronitiheyttä. Tosin ryhmä, jolla oli eniten vaikeuksia teorian suhteen, joutui keskeyttämään mallinnuksen neljänteen harjoitukseen, joten ei ole tiedossa, olisivatko myös he osanneet sen jälkeen selittää vesimolekyylien ja ionien käytöksen. Osa opiskelijoista testasi vain vesimolekyylien ja anionien käyttäytymistä, mutta osasi harjoitusten teon jälkeen kysyttäessä kertoa, mitä olisi tapahtunut, jos vesimolekyylien joukkoon olisi lisätty kationi.

Harjoitusten jälkeisiin kysymyksiin vastatessa havainnoidut kaksi ryhmää käyttivät vastatessaan mikrotason käsitteitä. Kysymys ”Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?” oli opiskelijoille helppo vastattava. Kysymykseen ”Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?”, jonka vastausta ei anneta suoraan oppikirjoissa, vastaaminen sisälsi yleensä enemmän ääneen arvailua, mutta oikeaan suuntaan.

Pohdintaosuudessa havainnoidut ryhmät tunnistivat, että malli ei vastaa täysin todellisuutta ja osa opiskelijoista osasi antaa esimerkin siitä, missä se heidän mielestään eroaa todellisuudesta. Pohdinta ei kuitenkaan ollut yleensä kovin syvällistä.

5.11 Havaitut opiskelijoiden virhekäsitykset

Seitsemän opiskelijoista mainitsi vastatessaan kysymyksiin siitä, mitä oli oppinut tai miten heidän käsityksensä vedestä muuttui työn aikana, että vesi ei ole puhdasta tai vesi on likaista. Tosin on huomattava, että ensimmäisen testiryhmän opiskelijan mukanaan tuomassa näytteessä joidenkin anionien pitoisuudet olivat yli suositusarvojen, joten tämän ryhmän kolme opiskelijaa saattoivat sanoa oppineensa omasta vesinäytteestään, ettei se ollut puhdasta, vaikka olisivat ymmärtäneet vedenlaatuun liittyvän asian oikein. Ei myöskään ole tiedossa, olivatko kolme opiskelijaa, jotka vastasivat näin toisesta

testiryhmästä, täyttäneet kysymyslomakkeen ennen vai jälkeen koonnin tai korjaantuiko virhekäsitys mahdollisesti jo käynnin aikana, jos lomakkeet oli täytetty ennen koontia.

Lisäksi toisessa tutkimusryhmässä yksi toisen testiryhmän opiskelija kertoi oppineensa veden sisältävän mm. klooria. Samoin yksi toisen testikerran opiskelijaryhmä etsi työn aikana tietoa kloorista vedessä, oletettavasti myös kloridin ja kloorin sekoittaneena. Yksi opiskelija oli myös kirjoittanut veden sisältävän mm. fluoria, vaikka mainitsi kloorin sijaan kloridin. Ensimmäisen testiryhmän puheessa tai vastauksissa ei ilmennyt tätä.

Ionikromatografian tuloksia tulkitessa ilmeni myös että kaikki opiskelijat eivät osanneet tulkita, tarkoittivatko heidän valmiiksi saamassaan listassa olevat suositusarvot suositeltuja enimmäis- vai vähimmäisarvoja. Eräs opiskelija myös ilmaisi uskomuksen, että sulfaattia, jota oli näytteessä eniten, on lisätty veteen puhdistusaineeksi. Samoin eräässä lomakkeessa puhuttiin veden ”lisäaineista”.

Yhdellä ryhmällä oli mallinnuksessa vaikeuksia toteuttaa ohjeen kohtaa ”merkitse vetysidokset näkyviin”. Kysyttäessä, mikä vetysidos on, ohjelmaa käyttävä opiskelija osoitti vedyn ja hapen välisen sidoksen, jota ryhmä oli yrittänyt manipuloida, oletettavasti tarkistamatta ohjeesta, miten vetysidokset merkitään näkyviin. Vetysidos aiheutti samalle ryhmälle vaikeuksia myös ryhmän valitessa malliin lisättäviksi ioneiksi fluoridi- ja kloridi-ionit, sillä he eivät osanneet päätellä, pitäisikö vesimolekyylin ja ionin välille muodostua vetysidos ja olettivat että kloridi-ioni, joka ei muodostanut vetysidosta, ei käyttäydy niin kuin sen oli mallinnuksessa tarkoitus.

5.12 Kokeellisen työn ja mallinnuksen oppimistavoitteiden täyttyminen

13 opiskelijaa 31:stä mainitsi oppineensa tai kertoessaan käsityksensä muuttumisesta sen, että vedessä on eri aineita ja kolme veden ionit. Voi siis katsoa kokeellisen työn tavoitteen ”oppilas ymmärtää, että arjessa kohtaamamme vesi on oikeastaan homogeeninen seos” täyttyneen jossain määrin, vaikka sanaa seos ei mainittukaan vastauksissa.

Toisaalta kolme heistä mainitsi vain yhden aineen ja yksi vastaaja kertoi vedessä olevan ”lisäaineita”, joten näiden vastaajien tieto asiasta vaikuttaa puutteelliselta. Lisäksi osa opiskelijoista oli käsityksessä, että vesi ei ole puhdasta tai on likaista. Tämä voi viitata siihen, että puhtaan eli turvallisesti juotavan veden ja kemiallisesti puhdasta ainetta olevan veden ero ei välttämättä tullut opiskelijoille täysin selväksi. Ei myöskään ole tietoa, ymmärsivätkö opiskelijat, että kaikki heidän arjessaan kohtaamansa vesi sisältää muitakin

aineita kuin vesimolekyyliä, ellei niitä ole poistettu sieltä. Koonti, jossa asiaa painotetaan, tai jokin muu painotus on siis tämän perusteella tarpeellinen.

Tavoite oppia veden laatuun vaikuttavista ioneista ja miten niiden pitoisuuksia voidaan mitata ionikromatografialla näyttää myös täyttyneen ainakin osan opiskelijoista kohdalla. Ensimmäisessä testiryhmässä kuusi opiskelijaa viittasi veden tutkimiseen kertoessaan, mitä oppi. Toisessa testiryhmässä kolme opiskelijaa kertoi oppineensa veden ioneja ja yhteensä seitsemän mainitsi kromatografian tai ionikromatografian jossain vastauksessa.

Mikrotason ilmiöiden yhdistäminen makrotasoon oli sekä kokeellisen työn että mallinnuksen tavoitteena, vaikka mikrotasoa havainnollistettiin ainoastaan mallinnuksessa. Mallinnuksen teko ei kuitenkaan nostanut suuresti mikro- ja makrotasojen yhdistämistä käsittelevän kysymysten vastausten keskiarvoa, ja vaikka vain kokeellisen työn tehneessä ryhmässä oli selvästi enemmän opiskelijoita, jotka olivat väitteen suhteen eri mieltä, myös samaa mieltä olleita opiskelijoita oli kaksi enemmän. Toisaalta havainnoidut opiskelijat osasivat kuitenkin mallinnukseen liittyvissä kysymyksissä selittää makrotason ilmiötä sillä, mitä tapahtuu mikrotasolla. On myös huomattava, että kysymys voi olla vaikea opiskelijalle, joka ei ole aikaisemmin pohtinut kemian tasoja, vaikka niitä olikin avattu kysymyksessä. Toisen yhteisen tavoitteen, veden kertaamisen, voi katsoa kyselyn perusteella täyttyneen osan opiskelijoista kohdalla, mutta siinäkin asteikkokysymyksen keskiarvo oli alle 3.

Mallinnuksen tavoitteista ”opiskelija oppii miten nestemäisen veden ja jään rakenteet eroavat toisistaan ja miten vesimolekyylit ja ionit suhtautuvat toisiinsa”, toteutuivat havaintojen perusteella hyvin, tosin ei ole tiedossa, kuinka paljon ennakkotietoja opiskelijoilla oli aiheista. Lisäksi tavoitteena oli, että opiskelijat ymmärtäisivät, miten sidokset ja poolisuus vaikuttavat tähän. Neljä opiskelijoista mainitsi kysymyslomakkeessa sidokset kertoessaan, mitä oli kerrannut tai syventänyt, mutta ei ole tiedossa liittyikö kertaaminen sidoksiin vai niiden vaikutukseen veden rakenteeseen tai veden ja ionien vuorovaikutukseen. Poolisuutta sen sijaan ei mainittu lomakkeissa tai mallinnusta tehdessä. Opiskelijat osasivat kuitenkin selittää vesimolekyylien ja ionien vuorovaikutuksen, vaikka eivät olisikaan käyttäneet termiä poolisuus.

5.13 Yhteenveto ensimmäisen kehittämistuotoksen arvioinnista

Kokeellisessa työssä opittiin kyselyn perusteella eniten siitä, mitä aineita talousvedessä voi olla, tai että siellä ylipäänsä on muita aineita kuin vettä sekä erotusmenetelmistä ja mallinnuksessa sidoksista. Kerratuista ja syvennetyistä aiheista mainittiin useimmin ionit, sidokset ja erotusmenetelmät. Erotusmenetelmät mainitsivat useammin opiskelijat toisesta testiryhmästä, jossa oli keskitytty enemmän erotusmenetelmiin.

Asteikkokysymyksissä, jotka liittyivät työn vaikutukseen aikaisempien tietojen kertaamiseen tai syventämiseen tai mikro- ja makrotason yhdistämiseen, mielipide oli keskimäärin hieman asteikon eri mieltä -puolella. Asteikkokysymysten perusteella opiskelijat olivat kohtalaisen tyytyväisiä opiskelutapaan, mutta tutkimuksesta ei voi päätellä tarkemmin miksi. Asteikkokysymysten vastauksissa ei ollut merkitseviä eroja eri sukupuolten tai toisessa testiryhmässä eri määrän kursseja suorittaneiden opiskelijoiden välillä.

Mikään kokeellisuudelle ja mallinnukselle asetetuista tavoitteista ei täytynyt täysin. Parhaiten päästiin mahdollisesti tavoitteeseen ”oppilas ymmärtää, että arjessa kohtaamamme vesi on oikeastaan homogeeninen seos”, mutta tässäkin ei ole varmuutta oivalsivatko kaikki opiskelijat, jotka vastasivat kyselyyn jotain veden muista aineista, tämän vai jäikö tieto irralliseksi. Opiskelijoille syntyi myös joitakin virhekäsityksiä. Virhekäsityksistä yleisin oli veden likaisuus, joka oli noin 20 %:lla opiskelijoista.

Työohjeiden oppimistavoitteiden täyttyminen voisi siis olla selvästi parempi ja pääasiat eivät välttämättä tule opiskelijoille selväksi. Toisaalta on muistettava, että työtä testanneet opiskelijat olivat vastanneet avovastauksiin lyhyesti, joten kaikki työssä tapahtunut oppiminen ei todennäköisesti näy vastauksissa. Opiskelijat eivät myöskään suorittaneet testauksen aikana kemian 1. tai 2. kurssia, joita työohjeet oli suunniteltu tukemaan.

Kokeellisen työn testausta haittasi se, että työtä ei kummallakaan kerralla suoritettu täysin ohjeen mukaan. Työohjeen toimivuudesta työpistetyöskentelyssä saatiin siis paljon tietoa, mutta siitä, miten ohje olisi toiminut yksittäisenä työnä, johon käytetään enemmän aikaa, voi esittää vain arvioita.

Tutkimuksellisen opiskelun vaikutuksista opiskelijoiden kokemuksiin ei myöskään saatu varmaa tietoa, eikä kokeellisen työn käytännön toteutus ollut yhtä tutkimuksellinen kuin ohje. Toisaalta ei tullut esille myöskään mitään, mikä olisi viitannut siihen, että työohjeita

ei kannata olla tutkimuksellisia ja opiskelijoiden kokemukset työtavasta olivat pääosin positiivisia. Tutkimuksen tavoitteena ei ollut kerätä tietoa tutkimuksellisen opiskelutavan vaikutuksesta aiheen oppimiseen eikä se olisi ollut käytetyllä koejärjestelyllä mahdollista, sillä tutkimuksessa ei ollut vertailuryhmää tai pre- ja post-testejä tapahtuneelle oppimiselle, eikä opiskelijoiden aikaisemmasta oppimisesta ollut tietoa.

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa se, että havainnoijia oli vain yksi, joten vain yhtä opiskelijaryhmää voitiin havainnoida kerrallaan. Tämän takia havainnot erityisesti kokeellisesta työstä eivät koske kaikkia työtä testanneita opiskelijoita. Havainnot voitiin kirjata ylös vasta testauksen jälkeen, joten on mahdollista, että havainnoissa on sen takia epätarkkuutta. Havainnoitujen opiskelijoiden toimintaa ei myöskään voi yleistää koskemaan kaikkia lukiolaisia.

6 Toinen kehittämistuotos

6.1 Ensimmäisen kehittämistuotoksen jatkokehittäminen

Testauksen ja kyselylomakkeiden perusteella kokeellisen työn haasteita olivat työohjeen huono sopivuus työpistetyöskentelyyn, opiskelijoiden huono syventyminen tietoihin vedenlaatuun vaikuttavista tekijöistä ja työmonisteeseen kuuluvat lomakkeet, jotka osa opiskelijoista koki liikaa aikaa vievinä ja ohjaajat jättävät hyödyntämättä. Lisäksi pitkän ohjeen kaikkien vaiheiden suorittaminen oli osalle opiskelijoista raskasta.

Taustatietojen vähentäminen olisi kuitenkin haasteellista, sillä testaus osoitti, että opiskelijoilla oli vaikeuksia tulkita tuloksia ilman riittäviä taustatietoja ja molemmissa ryhmissä esiin tullut virhekäsitys veden likaisuudesta osoittaa, että tulosten tulkintaan on kiinnitettävä huomiota. Oppimissyklin johtopäätökset-vaihe saattoi myös jäädä vajaaksi ajan puutteen tai opiskelijoiden huonon keskittymisen takia.

Mallinnuksen ohjeessa ei testauksen ja kysymyslomakkeiden perusteella ollut suuria ongelmia. Aloituksessa ja ionien luonnin ohjeessa oli kuitenkin jonkin verran epäselvyyttä ja ohjeen lukeminen oli kömpelöä.

Kokeellisen työn ohjeesta tehtiin toinen, lyhyempi versio, joka on tarkoitettu työpistetyöskentelyyn. Koska työn teko koko ryhmällä vie paljon aikaa ja molemmat työtä testanneet ryhmät olivat pyytäneet useita töitä, on todennäköistä, että ”Mitä piilee

talousvedessä?” -työohjetta käytetään usein työpisteenä. Suurin muutos työpisteveriossa on se, että taustatietolomakkeen täyttämisen sijaan opiskelijoiden tehtävänä on pohtia veden laatuun vaikuttavien tekijöiden avulla, miten näytteestä voisi tutkia muita tekijöitä kuin ionikromatografian mittaamia ioneja. Työpisteveriossa ei myöskään ole taustatarinaa, vaan virittäytyminen koostuu pelkästään kysymyksistä, eikä ionivaihdetulla vedellä ole keskeistä roolia. Työohje on ensimmäisen kehittämistuotoksen työohjetta avoimempi.

Mallinnukselle annettiin otsikko ”Vettä mikrotasolla”. Mallinnuksen ohjeeseen tehtiin jatkokehittämisessä vähemmän muutoksia. Suurimmat muutokset olivat harjoitusten ohjeiden uudelleenorganisointi niin, että kuhunkin harjoitukseen liittyvät ohjelman käyttöä koskevat ohjeet siirrettiin kyseisen harjoituksen alle sekä lisäykset kolmannen harjoituksen ohjeeseen. Kolmanteen harjoitukseen lisättiin ohjeet vesi-ionisuhteesta ja siitä, että vetysidokset voi tarvittaessa laittaa pois päältä. Ionien luomisen ohjeeseen lisättiin maininta moniatomisista ioneista ja siitä, että ohjelma näyttää joidenkin ionien ja vesimolekyylien suhteen vetysidoksena.

Mallinnuksen ohjeesta tehtiin myös versio, joka on tarkoitettu tehtäväksi kokeellisen työn jälkeen, mutta erot työohjeiden välillä ovat pieniä. Mallinnuksen ohje on jonkin verran ensimmäisen kehittämistuotoksen työohjetta suljetumpi.

Töiden tavoitteet pysyivät lähes samoina. Kokeellisen työn työpisteversion tavoitteista poistui kuitenkin maininta pH:sta, sillä sitä ei välttämättä mitata ja tavoite ”opiskelija ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla” siirtyi koskemaan vain mallinnusta, sillä kokeellisessa työssä tavoite liittyi tavallisen hanaveden ja ionivaihdetun veden eroihin, jotka eivät ole mukana työpisteveriossa.

6.2 Kokeellinen työ

Työpistetyöskentelyyn tarkoitettu versio kokeellisen työn ohjeesta koostuu viidestä osasta: virittäytymisestä, taustatietoihin tutustumisesta, vesitutkimuksen suunnittelusta, ionikromatografian käytöstä ja tulosten tulkinnasta sekä koonnista. Pedaste et al. (2015) oppimissyklissä virittäytyminen kattaa orientaation, taustatietoihin tutustuminen käsitteellistämisen, vesitutkimuksen suunnittelu ja ionikromatografian käyttö tutkimuksen, ionikromatografian tulosten tulkinta johtopäätökset ja koonti pohdinnan, joka on tässä tulosten esittämistä.

Virittäytyminen koostuu neljästä virittäytymiskysymyksestä: Mitä näyte sisältää?; Uskotko näytteen veden olevan puhdasta?; Onko puhdas vesi sama asia kuin kemiallisesti puhdasta ainetta oleva vesi? ja Voiko veden laadusta tehdä päätelmiä aistinvaraisesti? Kolmannen kysymyksen muotoilun tarkoitus on tuoda selkeämmin esiin puhdas vesi ja puhdas aine erillisinä käsitteinä ja saada opiskelija pohtimaan niiden määritelmiä.

Taustatiedoissa kerrotaan veden laadun tutkimisesta ionikromatografialla ja veden laatuun vaikuttavista tekijöistä. Listattujen ionien raja- ja suositusarvot annetaan käyttäen termejä enimmäismäärä ja suositeltu enimmäismäärä. Joidenkin ionien tietoja täydennettiin lisäämällä tieto, että ionilla ei ole tunnettuja terveysvaikutuksia tai että se on pienissä määrin ihmiselle välttämätön hivenaine, jotta taustatiedoista välittyisi opiskelijalle paitsi se, miksi kyseisten ionien pitoisuuksia talousvedessä tutkitaan ja melkein kaikille on asetettu enimmäismäärät, myös se, miksi ionien poistaminen juomavedestä kokonaan ei olisi järkevää.

Vesitutkimuksen suunnittelussa opiskelijoiden on taustatietojen avulla pääteltävä, miten he voisivat tutkia vesinäytteestä muita veden laatuun vaikuttavia tekijöitä. Tarkoituksena on linkittää taustatiedot vahvemmin työn muihin osioihin ja antaa opiskelijoille motivaatioita tutustua taustatietoihin. Taustatietojen veden laatuun vaikuttavista tekijöistä on mahdollista löytää tutkittaviksi asioiksi väri, sameus, maku, haju, sakka, veden pinnalla erottuva kalvo, tahraavuus ja pH, jotka mainittiin ensimmäisen kehittämistuotoksen taustatietolomakkeessa. Tutkimusten suorittaminen ei ole vaadittua, mutta ne voi tehdä.

Työohje on tässä kohdassa avoimempi kuin ensimmäisessä kehittämistuotoksessa, lähempänä ohjattua tutkimusta kuin jäsennettyä tutkimusta (ks. Windschitl, 2003). Tutkimuksen suunnittelu on kuitenkin käytännössä mahdollista tehdä ohjaajan vetämänä, sillä ”Mitä piilee talousvedessä?” –työpisteellä on oltava ohjaaja käyttämässä ionikromatografiaa. Tutkimuksen suunnitteluun käytettävässä ajassa ja siinä, tehdäänkö tutkimukset myös oikeasti, on melko paljon joustonvaraa ryhmän tarpeiden mukaan.

Ionikromatografian käytölle ei ole työohjeessa erillistä kohtaa, sillä ohjaaja käyttää ionikromatografiaa. Ionikromatografian antamien tulosten tarkastelulle on työohjeessa otsikko ”Pitäisikö tästä huolestua?” ja kolme apukysymystä: Ovatko tutkittujen anionien pitoisuudet enimmäismäärän alapuolella?; Uskotko vesinäytteen veden olevan turvallista juotavaksi? ja Voisiko näiden tietojen ja suunnitellun vesitutkimuksen avulla julistaa minkä tahansa vesinäytteen juomakelpoiseksi?

Tulosten tarkastelussa on tavoitteena, että opiskelija tekee taustatietojen avulla johtopäätöksiä anionien pitoisuuksista ja vesinäytteen puhtaudesta. Otsikon ja ensimmäisen kysymyksen tarkoitus on saada opiskelija asettamaan ionikromatografian antamat tulokset oikeaan mittakaavaan ja pienentää mahdollisuutta opiskelijoiden virhekäsitykseen, että vesi on likaista, jos siinä on selviä pitoisuuksia joitakin tutkittuja anioneja, jos pitoisuudet eivät ole enimmäismäärän yläpuolella. Asian käsittely ennen koontia estää sen, että se jää käsittelemättä tai tulee vain puoliksi ymmärretyksi, jos koonti joudutaan aikataulullisista syistä jättämään pois tai pitämään hyvin lyhyenä.

Toisen ja kolmannen kysymyksen tarkoituksena on palauttaa mieleen taustatiedot ja vesitutkimuksen suunnittelu ja ymmärtää, että vierailulla ei tutkittu vesinäytteestä kaikkia mahdollisia epäpuhtauksia, joten vesinäytteen juomakelpoisuuden arvioiminen riippuu siitä, mitä se on peräisin.

Koonnissa opiskelijat saavat mahdollisuuden tarkastella kaikkien vierailulla analysoitujen näytteiden anionipitoisuuksia taulukosta ja tutkia, eroavatko ne toisistaan. Lisäksi pohditaan sitä, miksi näytteissä on muitakin aineita kuin vettä.

6.3 Mallinnus

Työohje koostuu samoista vaiheista kuin ensimmäisen kehittämistuotoksen työohje, mutta ohjeisiin tehtiin joitakin muutoksia ja täydennyksiä. Ohjeen avoimuus on hieman pienempi kuin ensimmäisessä työohjeessa, sillä vaikka vettä kuvaavan mallin luomiseen tarvittavat ohjeet on edelleen koottu pikaoppaaksi virittäytymiskysymysten jälkeen, harjoitusten vaatimat ohjelman käytön ohjeet on sijoitettu kyseisen harjoituksen ohjeen jälkeen, mikä selkeyttämisen lisäksi myös asettaa ne kuuluvaksi vain tiettyihin harjoituksiin.

Jos idea taustahälystä (Johnstone, 1984; Pickering, 1987) pätee myös mallinnuksen ohjeessa, harjoituksen ja sen ohjeiden sijoittaminen peräkkäin voi vähentää riskiä, että jompikumpi luokiteltaisiin taustahällyyn. Muutos myös vähentää opiskelijan tarvetta liikkumiseen harjoitusten ja ohjelman käytön ohjeiden välillä ja tehdä ohjelman käyttöön tarkoitetut ohjeet helpommiksi löytää. Tämä ei kuitenkaan poista rasiitetta työmuistille, jota voi syntyä mallinnusohjelman ja sähköisen ohjeen välillä liikkumisesta.

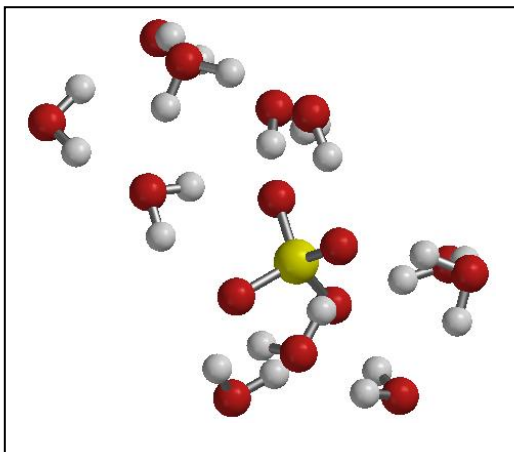
Tarkoituksena antaa opiskelijalla hieman enemmän viitteitä siitä, miten edetä työn alkuvaiheessa, alun kysymysten jälkeen annetaan ohje ”Pohdi kysymyksiä ja mallinna sen jälkeen näytettä Spartan-ohjelmalla” ja mallin luomisesta annetaan aikaisempaa pidempi

ohje: ”Luo malli, joka kuvaa vettä. Kun olet tyytyväinen malliin, jatka harjoituksiin. Voit täydentää mallia myös harjoitusten aikana.”

Harjoituksista kolmannen harjoituksen ohje sai eniten lisäyksiä. Tehtävänantoon lisättiin huomautus, että vaikutus näkyy selvemmin, kun vesimolekyylien ja ionien suhde on selvästi vesimolekyylien suuntaan, jotta opiskelijat lisäisivät ioneja kohtuullisesti tai lisäisivät malliin myös vesimolekyyliä. Samoin lisättiin huomautus, että vetysidokset voi tarvittaessa kääntää pois päältä. Tämä voi auttaa opiskelijoita keskittymään vesimolekyylien asentoon ja muistuttaa opiskelijoita siitä, että vetysidosten tarkastelu ei ole tämän harjoituksen tarkoitus. Vetysidosten pois päältä laittaminen ei kuitenkaan ole välttämätöntä harjoituksen kannalta, kuten testauksessa osoitettiin, sillä monilla havainnoiduista ryhmistä ei ollut vaikeuksia havainnoida vesimolekyylien ja ionien välistä suhdetta, vaikka yhdestä ionista olisikin lähtenyt vetysidoksia.

Lisäksi ohjelman käytön ohjeisiin lisättiin ohje välttää lisäämästä ioneja hapestä lähteviin kovalenttisiin sidoksiin, ohje moniatomisten ionien luontiin sekä maininta, että harjoitus voi toimia paremmin yksiatomisilla ioneilla. Moniatomisten ionien mainitseminen on tärkeää etenkin opiskelijoille, jotka tekevät mallinnuksen kokeellisen työn jälkeen, sillä puolet kokeellisessa työssä esillä olevista anioneista on moniatomisia.

Moniatomisten ionien luominen on Spartanissa hankalampaa, mutta ohjelmaan voi luoda ionin rakennetta muistuttavan rakenteen, jonka suhteen vesimolekyylit käyttäytyvät kuin ionit (kuva 8). Tämä voi vaatia onnistuakseen sitä, että vesimolekyylit ja ionit on sijoitettu sopivasti toistensa suhteen, mutta voi toimia yhtä hyvin kuin yksiatomisilla ioneilla.



Kuva 8: Sulfaatti-ioni ja vesimolekyylejä Spartanissa. Sulfaatti-ionia mallintaa rikki-atomi, johon on kiinnittynyt kovalenttisin sidoksin neljä happiatomia, joista ei lähde muita kovalenttisia sidoksia. Vetysidokset eivät ole päällä.

Ensimmäiseen harjoituksen ohjeeseen lisättiin, että vetysidokset ovat englanniksi hydrogen bonds, jotta niiden löytäminen englanninkielisestä valikosta helpottuisi. Samoin neljänteen harjoitukseen lisättiin ohjeeseen elektronitiheyden hakemiseksi Edumolista pinnoille myös englannin sana surfaces, sillä opiskelija ei voi vaikuttaa siihen, kummalla kielellä Edumolin valikot ovat.

Se, että ohjelma vetysidosten ollessa päällä ohjelma näyttää joidenkin ”ionien” ja vesimolekyylien sidokset vetysidoksina on ohjeiden kehittämisen kannalta ongelmallista. Vaikka kolmannessa harjoituksessa voi laittaa vetysidokset pois päältä, opiskelijat eivät välttämättä huomaa tehdä sitä heti ja erityisesti kokeellisen työn jälkeen mallinnusta tekevät opiskelijat saattavat lisätä ioneja ennen kolmatta harjoitusta, joten vetysidosten näkyminen vesimolekyylien ja joidenkin ionien välillä voi silti hämmentää opiskelijoita, jos sitä ei huomioida ohjeessa. Vaikka ongelma koskee suhteellisen harvoja ioneja, kokeellisessa työssä mitatuista kuudesta ionista neljä kuuluu tähän joukkoon.

Tästä syystä ionien luonnin ohjeeseen lisättiin myös huomautus siitä, että vetysidos on joidenkin ionien kohdalla poikkeus sääntöön, että atomi, josta ei lähde kovalenttisia sidoksia toimii mallinnuksessa kuin ioni. Tätä jatketaan kysymyksellä ”Miksi ohjelma näyttää vetysidoksen virheellisesti juuri näille ioneille?” Tarkoitus on myös korostaa, että kyse on ohjelman ominaisuudesta, eikä siitä, että osa ioneista sitoutuisi vesimolekyyliin vetysidoksin.

Jatkokysymys antaa samalla mahdollisuuden kerrata teoriaa sidoksista opiskelijoiden joutuessa miettimään, miten esimerkiksi fluori liittyy vetysidoksiin. Tässä on tosin olemassa riski, että opiskelijat keskittyvät liikaa etsimään ioneja, joilla näkyy vetysidos, vaikka se ei ole harjoituksen tarkoitus.

Pohdintaosuuden kysymykset pysyivät samoina, vaikka nyt kysymys ohjelman ja todellisuuden eroista on enemmän kertaava, sillä opiskelija saa tietää vetysidoksista jo ionien luontia koskevassa ohjeessa.

Versioon, joka on tarkoitettu kokeellisen työn jälkeen tehtäväksi, johdantokysymykseksi vaihdettiin ”Miltä vesinäyte näyttää mikrotasolla?” ja mallinnuksen ohjeessa ohjeistettiin mallintamaan vesinäytettä. Kolmannessa harjoituksessa ohjeistetaan vain havainnoimaan mitä tapahtuu vesimolekyylien ja ionien välillä energian minimoinnissa, eikä lisäämään ioneja, sillä kokeellisen työn näytettä mallintavat opiskelijat todennäköisesti ovat jo lisänneet ioneja.

Pohdintakysymyksiin lisättiin kysymys ”Mitä näytteessä olevia asioita ei pystynyt mallintamaan ohjelmalla?” huomioimaan sitä, että Spartanilla ei voi luoda mallia, joka vastaisi täysin kokeellisen työn havaintoja, sillä esimerkiksi moniatomisten ionien mallintaminen on hankalaa eikä välttämättä onnistu.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

7.1 Veden kemian opetus

Veden kemia on hyvin monipuolinen aihe, joka voi liittyä moneen kemia kurssiin. Tarveanalyysissä näkyy, että lukion kemian kirjoissa vesi esiintyy pääasiassa kemiallisena aineena ja viittaukset veteen luonnonvarana tai talousveteen ovat usein lyhyitä tai lisätiedoissa. Riippuu kirjasarjasta, käsitelläänkö vettä kootusti missään kurssissa ja missä kurssissa vesiosio on. Veden käsittely useasta näkökulmasta voi kuitenkin antaa opiskelijalle paremman yleiskuvan siitä, mitä vesi on ja mikä on sen merkitys ihmiselle.

Kehittämistuotos pyrki antamaan vedestä paremman kokonaiskuvan käsittelemällä vettä sekä talousvetenä että kemiallisena aineena. Kokeellinen työ tuo esiin aihealueita, jotka jäävät sivuun kemian oppikirjoissa. Talousvesi tuo työhön arkielämän yhteyden ja veden anionipitoisuuksien mittaamisella, jossa opiskelijat pääsevät itse tutkimaan näytettä uudella työtavalla, on suurempi mahdollisuus jäädä mieleen kuin tekstillä tai teoreettisella harjoituksella vedenlaadusta. Mallinnuksessa taas keskitytään opetussuunnitelman keskeisiin sisältöihin.

Työohjeita testanneilla lukiolaisilla oli havaintojen perusteella enemmän ennakkotietoja mallinnukseen liittyvästä veden kemiasta kuin kokeelliseen työhön liittyvästä talousveden laadusta. Mallinnus vaikutti olevan töitä testanneille opiskelijoille enemmän vanhan tiedon kertausta ja kokeellinen työ uuden oppimista. Kyselyn perusteella nimenomaan kokeellinen työ muutti opiskelijoiden käsitystä vedestä. Tutkimuksessa ei käynyt ilmi, miten hyvin työ paransi opiskelijoiden kokonaiskuvaa vedestä. Linkki eri näkökulmien välillä ei ole yhtä vahva toisessa kehittämistuotoksessa, jossa ei vertailla ionivaihdettua vettä ja hanavettä, joten voi olla, että siinä opiskelijat mieltävät vahvemmin kokeellisen työn ja mallinnuksen omiksi kokonaisuuksikseen.

7.2 Työtavat ja oppimistulokset

Koska aineistoa kerättiin vain 31 opiskelijalta, kyselytutkimuksen tuloksia voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina. Ensimmäisen kehittämistuotoksen työohjetta ei saatu kokeellisen työn osalta testattua ohjeen mukaan suoritettuna, mutta kysely ja havainnointi testauksen yhteydessä paljastivat kuitenkin ongelmakohtia ja antoivat tavoitteet toisen kehittämistuotoksen tekoon.

Kyselyn perusteella töiden oppimistavoitteet täyttyivät osittain, mutta eivät täysin. Ensimmäisen kehittämistuotoksen tavoitteet saattoivat olla liian korkealla työohjeen sisältöön ja opiskelijoiden keskittymiskykyyn nähden. Opiskelijoiden vastauksista kävi kuitenkin ilmi, että työstä voi oppia tai kerrata ioneja, sidoksia, veden ominaisuuksia ja veden laatuun liittyviä tekijöitä. Opiskelijoiden vastauksista kävi ilmi myös, että vaikka kehittämistuotos suunniteltiin opettamaan veteen eikä erotusmenetelmiin liittyvää asiaa, työn teosta voi oppia tai kerrata myös erotusmenetelmiä. Opiskelijat eivät kuitenkaan kokeneet kerranneensa tai syventäneensä merkittävästi aikaisempia sisältöjä.

Oppimistavoitteista nousi opiskelijoiden vastauksissa selvimmin esiin se, että arjessa kohdattu vesi on seos. Noin puolet vastaajista viittasi veden moniin aineisiin kertoessaan oppimisestaan tai käsityksensä muuttumisesta, tosin tieto oli muutaman heistä kohdalla vajavaista tai virheellisesti ymmärrettyä. Tässä korostuu ohjaajan roolin merkitys sen varmistamisessa, että myös johtopäätösten ja koonnin asia tulee käsiteltyä, jotta opiskelijoille muodostuisi työstä riittävä kokonaiskuva.

Virhekäsityksissä näkyi myös teoriaosuuden vaikutus. Toisaalta teoriaisuus saattoi johtaa virhekäsityksiin veden likaisuudesta, koska se keskittyi lueteltujen ionien haittatekijöihin, toisaalta veden laatuun liittyvän teorian sivuuttaminen kokonaan ei antanut opiskelijoille pohjaa tehdä johtopäätöksiä ionikromatografian antamista tuloksista.

Koska opintokäynnille tulevat opiskelijat eivät välttämättä ole käyneet läpi työhön liittyvää teoriaa aikaisemmin, sekä teoria ja että työn suoritus on käytävä läpi opintokäynnin aikana. Siksi teoriaa on opittava ennen kokeellista työtä tai sen aikana, jotta opiskelijat pystyvät tulkitsemaan tuloksia. Teorian sekoittuminen kokeellisen työn suorituksen kannalta olennaisiin tietoihin, jonka Pickering (1987) toi esiin mahdollisena ongelmana, ei kuitenkaan ole tässä tapauksessa suuri ongelma mittauksen suorituksessa, sillä se tapahtuu automaattisesti.

Tutkimuksellisesta opiskelusta ei saatu tutkimuksessa juurikaan uutta tietoa. Lyhyessä ajassa tehtävät kokeellinen työ ja mallinnus eivät olleet helpoin mahdollinen tapa tehdä tutkimuksellista oppimateriaalia eikä työn toteutus ollut niin tutkimuksellista kuin mihin pyrittiin. Tutkimuksellinen opiskelu toimi kuitenkin hyvin työohjeiden perustana ja mallinnusohje vaikutti kuitenkin toimivan jäsennettynä tutkimuksena.

Tutkimuksellisuutta pyrittiin tukemaan työohjeisiin liitetyillä kysymyksillä, joista osa rohkaisi opiskelijoita kehittämään hypoteeseja. Pelkät kysymykset eivät kuitenkaan

ensimmäisessä kehittämistuotoksessa, erityisesti kokeellisessa työssä, taanneet tutkimuksellisuutta eivätkä opiskelijat jaksaneet pohtia loppupään kysymyksiä. Tutkimuksessa siis vahvistui se, että tutkimuksellinen työohje ei takaa tutkimuksellista opiskelua (ks. NRC, 2000).

Toisessa kehittämistuotoksessa käytettiin tämän korjaamiseksi vähemmän ohjeeseen kirjoitettuja kysymyksiä, mutta korkeampaa tutkimuksellisuuden tasoa ja korostetaan enemmän ohjaajan roolia. Tutkimusosa suunniteltiin myös tukemaan paremmin teorian oppimista niin, että opiskelijoiden on tutustuttava teoriaan voidakseen suunnitella tutkimuksen (vrt. Pickering, 1987).

Kokeellisten töiden tekemisellä voidaan pyrkiä moniin eri tavoitteisiin, esimerkiksi luonnontieteiden ilmiöiden oikeaksi tekemiseen, käsitteiden opettamiseen, kiinnostuksen ja motivaation herättämiseen ja ylläpitämiseen, antamaan opiskelijoille mahdollisuus tehdä tiedettä, havainnoinnin, käden taitojen ja välineiden käytön harjoitteluun ja tieteellisen ajattelun tukemiseen (Bennett, 2003; Hofstein et al., 2013; Lavonen & Meisalo, 2007).

Opiskelijoiden vastausten perusteella kokeellinen työ konkretisoi sen, että talousvedessä on muitakin aineita kuin vettä. Toisen kehittämistuotoksen ohjeessa puhtaan aineen käsite mainitaan virittäytymiskysymyksissä, mikä tuo työhön liittyvän idean mukaan jo kokeellisen työn aikana, kuten Abrahams ja Millar (2008) suosittelevat. Tämän tarkoituksena on saada opiskelijat yhdistämään havainto aikaisemmin opittuihin käsitteisiin puhdas aine ja seos ja edistää näin sekä käsitteiden oppimista että ilmiöiden havainnollistamista.

Tutkimusosan tavoitteet muuttuivat ensimmäisen ja toisen kehittämistuotoksen välillä. Ensimmäiseen kehittämistuotokseen sisältyy enemmän tekemistä ja välineiden käyttö ja havainnointi ovat vahvemmassa roolissa, toisessa korostuu opiskelijoiden oma ajattelu vesitutkimuksen suunnittelun yhteydessä. Molemmissa pyritään kuitenkin herättämään opiskelijoiden kiinnostus ja tukemaan heidän päättelyään.

Tietokoneella tehtävässä molekyylihallinnuksessa opiskelija voi rakentaa mallin itse, tarkastella sitä eri kulmista ja etsiä matalaenergisimmän rakenteen (Kozma & Russell, 2005). Tietokonemalli tai -simulaatio voi myös kuvata suurta molekyylien määrää todenmukaisemmin (Bucat & Mocerino, 2009) ja esittää kolmiulotteiset suhteet kaksiulotteisia esittämistapoja paremmin (Stieff et al., 2005). Mallien käytöllä voidaan

esimerkiksi auttaa opiskelijoita ymmärtämään sidoksiin liittyviä käsitteitä ja siirtämään keskustelua laboratoriokokeiden fyysisestä puolesta molekylaariselle tasolle ja dynaamisiin prosesseihin (Kozma & Russell, 2005).

Molekyyylimallinnusohjelma sopi erityisen hyvin veden mallinnukseen, sillä se mahdollistaa vesimolekyylien suhteiden kuvaamisen kolmiulotteisesti. Harjoituksissa havainnollistettiin molekyylien välisiä ja molekyylien ja ionien välisiä sidoksia matalaenergisimmän rakenteen ja ohjelman näyttämien vetysidosten avulla.

Havaintojen perusteella energian minimointi ja vetysidosten osoitus veden vetysidosten havainnollistamiseksi ja energian minimointi sidoksettomille atomeille vesimolekyylien seassa vesimolekyylien ja ionien suhteen havainnollistamiseksi olivat opiskelijoille ymmärrettäviä. Suurin osa mallinnusta testanneista opiskelijoista oli opiskellut sidokset, joten harjoitus oli heille aikaisempaa kertaava. Sidokset mainittiinkin kerratuissa asioissa. Opiskelijat myös kokivat molekyyylimallinnusohjelman käytön pääosin helpoksi ja havainnoidut opiskelijat osasivat selittää mallinnuksen avulla myös ilmiötä, jota ei käsitelty oppikirjoissa.

Opiskelijoiden valinnanvapaus mallin luomisessa aiheutti sen, että molekyylien suuri määrä ei usein näkynyt heidän luomissaan malleissa. Opiskelijoilla oli kuitenkin mahdollisuus verrata luomiaan malleja sulamista ja jäätymistä käsittelevän simulaation malliin, jossa oli suuri määrä molekyyliä ja osa ryhmistä keskusteli molekyylien määrästä kolmannessa harjoituksessa tai pohdinnassa.

Mikro- ja makrotasojen linkittäminen osoittautui tutkimuksessa haastavaksi eikä ole varmuutta miten hyvin työt edistivät sitä. Mallinnuksen tehneistä opiskelijoista vain kolme koki töiden auttaneen heitä yhdistämään mikro- ja makrotasot toisiinsa, mutta havainnoidut opiskelijat osasivat mallinnuksessa selittää makrotasolla havaittavia ilmiöitä mikrotason tapahtumilla. Mikro- ja makrotasojen linkittämistä paremmin tukevan oppimateriaalin kehittäminen vaatisi laajempaa tutustumista tutkimukseen kemian eri tasojen yhdistämisestä. Tämä on yksi mahdollinen lähestymistapa tuleviin tutkimuksiin kokeellisuuden ja mallinnuksen yhdistämisestä.

Kokeellisuudella, tutkimuksellisella kokeellisuudella tai mallinnuksella on todettu aiemmissa tutkimuksissa olevan positiivisia vaikutuksia opiskelijoihin (Dori & Kaberman, 2012; Hofstein & Mamlok-Naaman, 2011; Kipnis & Hofstein, 2007). Koska opiskelijat olivat pääosin tyytyväisiä opiskelutapaan ja muutama antoi tästä erikseen palautetta, voi

tutkimuksen sanoa olevan samoilla linjoilla aikaisempien tutkimusten kanssa, vaikka ei olekaan tiedossa, mistä opiskelijat pitivät.

7.3 Tutkimuksen merkitys ja tulevaisuuden mahdollisuudet

Tutkimuksessa onnistui luoda toimiva veden kemiaan liittyvä molekyylihallinnusohje ”Vettä mikrotasolla” sekä ”Mitä piilee talousvedessä?” työn ohjeesta työpistetyöskentelyyn tarkoitettu ohje, jota ei ole vielä testattu. Tutkimus tarjoaa myös käytännön tietoa ”Mitä piilee talousvedessä?” ja ”Vettä mikrotasolla” töiden ohjaamiseen tulevaisuudessa.

Tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että testauksissa käytetty kolmen hengen ryhmä on toimiva ryhmäkoko molemmissa töissä, mutta esimerkiksi kuuden hengen ryhmä on kokeellista työtä ajatellen liian suuri ja vaikutti heikentävän opiskelijoiden osallistumista työhön. Kokeellisessa työssä on myös huomioitava mahdollisuus virhekäsitysten muodostumiseen ja käsiteltävä ne ionikromatografian antamien tulosten tulkinnan tai koonnin yhteydessä. Mallinnuksen mahdolliset ongelmakohdat pyrittiin huomioimaan ohjeessa, mutta myös ohjaajan on hyvä tiedostaa, että ionien ja vesimolekyylien sidosten havainnollistaminen vaatii riittävästi vesimolekyyliä ja oltava valmis keskustelemaan opiskelijoiden kanssa siitä, miksi ohjelma esittää joidenkin ionien ja vesimolekyylin suhteen vetysidoksena.

Kehittämistuotosten lisäksi tutkimus tarjoaa tietoa veden käsittelystä lukion oppikirjoissa, tutkimuksellisen kokeellisuuden ja molekyylihallinnuksen ohjeiden luomisesta ja niiden käytännön toteutuksesta. On huomattava, että ohjeiden luomisprosessia ei voi yleistää suoraan, sillä esimerkiksi työn aihe, kohderyhmä ja käytettävissä olevat resurssit vaikuttavat paljon ohjeiden luomiseen.

Molekyylihallinnusohjelmat ovat siirtyneet viidessäkymmenessä vuodessa vain yliopistojen tutkimusryhmien käytössä peruskoululaisten ja lukiolaisten käyttöön. Miten suuren roolin ne tulevaisuudessa saavat kemian opetuksessa ja miten niiden käyttö tulee vaikuttamaan kemian oppimiseen jää vielä nähtäväksi. Pelkkä ohjelman käyttö ei kuitenkaan takaa mielekästä oppimista, vaan paljon riippuu siitä, miten ja mihin tarkoitukseen ohjelmaa hyödynnetään.

Molekyylihallinnusohjelmien kehittyminen ja leviäminen laajempaan käyttöön tuo mahdollisuuksia kehittää opiskelijoille haastavampia ja mallinnusharjoituksia. Tätä työtä tehdessä päädyttiin käyttämään mallinnuksen kanssa valmiita simulaatioita esittämään

asioita, jotka eivät onnistuneet kokeilla molekyylimallinnusohjelmilla ja ioneja mallinnettiin poistamalla atomista sidokset, mutta tulevaisuudessa esimerkiksi jään rakenteen luominen tai atomien muuttaminen täysin ionien lailla toimiviksi voi onnistua opetuskäyttöön tarkoitetuilla ohjelmilla

Työohjeet suunniteltiin vuoden 2003 opetussuunnitelman kemian 1. ja 2. kursseille. Työohjeissa käsitellyt kemian sisällöt ovat kuitenkin osa myös vuoden 2015 lukion kemian opetussuunnitelmaa, joten työohjeen käyttöä voi jatkaa myös uuden opetussuunnitelman tultua käyttöön. Vuoden 2015 opetussuunnitelmassa erityisesti mallinnukseen liittyvistä sisällöistä monet tulevat jo 1. kurssissa, joten työohjetta saattavat tulevaisuudessa käyttää opiskelijat, joilla on takanaan vähemmän kemian opintoja kuin työohjetta testanneilla opiskelijoilla. Uusi opetussuunnitelma tuo tullessaan myös uudet kemian oppikirjat, joissa veden kemian tai talousveden rooli voi olla aiempaa suurempi tai pienempi.

Kehitetyt työohjeet jäävät Gadolinin työohjeisiin tulevia opintokäyntejä varten. On siis mahdollista, että ohjeiden kehittäminen jatkuu myös tulevaisuudessa ohjaajien muokatessa niitä tarpeisiinsa paremmin soveltuviksi.

8 Lähteet

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Aksela, M., & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers' experiences and views. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(4), 301. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/742856834/abstract/embedded/2L6A2M5MLJAG617U?source=fedsrch>
- Ault, A. (2002). What's wrong with cookbooks? *Journal of Chemical Education*, 79(10), 1177-1177.
- Ault, A. (2004). What's wrong with cookbooks? *Journal of Chemical Education*, 81(11), 1569-1569.
- Barton, R. (2004). Why use computers in practical science? In R. Barton (Ed.), *Teaching secondary science with ICT* (pp. 27-39). Maidenhead: Open university press.
- Bennett, J. (2003). *Teaching and learning science : A guide to recent research and its applications*. London: Continuum.
- Bennett, M. (2015). The invisible hand of inquiry-based learning. *Childhood Education*, 91(5), 388-389.

- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert, & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 31-54) Springer.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical frameworks for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175.
- Chiu, M., & Wu, C. (2009). The roles of multimedia on teaching and learning of the triplet relationship in chemistry. In J. K. Gilbert, & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 251-284). New York: Springer.
- Dori, Y. J., & Kaberman, Z. (2012). Assessing high school chemistry students' modeling sub-skills in a computerized molecular modeling learning environment. *Instructional Science*, Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s11251-011-9172-7>
- Dori, Y. J., Rodrigues, S., & Schanze, S. (2013). How to promote chemistry learning through the use of ICT. In I. Eilks, & A. Hofstein (Eds.), *Teaching chemistry - A studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (pp. 213-240). Rotterdam: Sense Publishers.
- Ealy, J. B. (2004). Students' understanding is enhanced through molecular modeling. *Journal of Science Education and Technology*, Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/s10956-004-1467-x>
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 105-121.

- Eilks, I., & Hofstein, A. (2013). Introduction. In I. Eilks, & A. Hofstein (Eds.), *Teaching chemistry - a studybook : A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (pp. vii-xiii). Rotterdam: Sense Publishers.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9-28). Dordrecht: Springer.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. In B. J. Fraser, & K. G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education 1* (pp. 53-66) Kluwer Academic Publishers.
- Gobert, J. B., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gutierrez S. (2015). Collaborative professional learning through lesson study: Identifying the challenges of inquiry-based teaching. *Issues in Educational Research*, 25(2), 118-134.
- Herranen, J., Tuomisto, M., & Aksela, M. (2015). Tutkimuksellinen opiskelu kemian aineenopettajakoulutuksessa. *Lumat*, 3(6), 856-866.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2004). *Tutki ja kirjoita* (10. osin uud. laitos.). Helsinki: Tammi.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2009). *Tutki ja kirjoita* (15. uud. p.). Helsinki: Tammi.

- Hofstein A., & Mamlok-Naaman. (2011). High-school students' attitudes toward and interest in learning chemistry. *Educacion Quimica*, 22(2), 90-102.
- Hofstein, A., Kipnis, M., & Abrahams, I. (2013). How to learn in and from the chemistry laboratory. In I. Eilks, & A. Hofstein (Eds.), *Teaching chemistry-- a studybook : A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (pp. 153-182). Rotterdam: SensePublishers.
- Johnstone A. (1984). New stars for the teacher to steer by? *Journal of Chemical Education*, 61(10), 847-849.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83.
- Justi, J. K., & Gilbert, R. (2002). Models and modeling in chemical education. In J. K. Gilbert, o. De Jong, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practise* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer academic publishers.
- Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 898-921.
- Kipnis, M., & Hofstein, A. (2008). The inquiry laboratory as a source for development of metacognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 601. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/61983358/abstract/embedded/110A0SS23HQ0H0ZK?source=fedsrch>

- Kipnis, M., & Hofstein, A. (2007). Inquiring the inquiry laboratory in high school, tiivistelmä. In R. Pintó, & D. Couso (Eds.), *Contributions from science education research* (pp. 297) Springer Netherlands. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5032-9_23
- Kirschner, P., A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work?: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. Gilbert (Ed.), *Vizualisation in chemistry education* (pp. 121-145). Dordrecht: Springer.
- Lavonen, J., & Meisalo, V. (2007) Kokeellisuuden työtavat. Retrieved from <http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/kokeel/>
- Lundell, J., & Aksela, M. (2007). Chemistry education: Modelling opens up new horizons. *Kemia*, 34(5), 28-29.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Metsämuuronen, J. (2006). *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä : Opiskelijalaitos* (2. laitos, 3. uud. p.). Helsinki: International Methelp.
- Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction - what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal*

of *Research in Science Teaching*, 47(4), 474. Retrieved from

<http://search.proquest.com/docview/754138918/abstract/embedded/QQ6K94QLUV6LYXJO?source=fedsrch>

Monteyne, K., & Cracolice, M. S. (2004). What's wrong with cookbooks? A reply to Ault.

Journal of Chemical Education, 81(11), 1559. Retrieved from

<http://search.proquest.com/docview/211902515/abstract/embedded/LFVF9Q29PMQD9Y7K?source=fedsrch>

National Research Council, Committee on Development of an Addendum to the National Science Education Standards on Scientific Inquiry, & Center for Science, Mathematics, and Engineering Education. (2000). In Olson S., Loucks-Horsley S. (Eds.), *Inquiry and the national science educational standards: A guide for teaching and learning*. Washington: National Academy Press.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, o., van Riesen, S., Kamp, E. T., Manoli,

C. C., Zacharia, Z. C. & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning:

Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47. Retrieved

from

<http://search.proquest.com/docview/1698869867/abstract/embedded/IO5KVR46QBIIW06Y?source=fedsrch>

Pernaa, J. (2013b). Esipuhe. In J. Pernaa (Ed.), *Kehittämistutkimus opetuslalla* (pp. 7-8).

Juva: PS-kustannus.

Pernaa, J. (2013a). Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. In J. Pernaa (Ed.),

Kehittämistutkimus opetuslalla (pp. 9-26). Juva: PS-kustannus.

Pickering, M. (1987). What goes on in students' heads in lab? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 521. Retrieved from

<http://search.proquest.com/docview/63282049/abstract/embedded/11OA0SS23HQ0H0ZK?source=fedsrch>

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe, European commission directorate-general for research science, economy and society.

http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

Rudolph, J. L. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*, 89(5), 803-821.

Senese, F. Why does salt melt ice? Retrieved from

<http://antoine.frostburg.edu/chem/senese/101/solutions/faq/why-salt-melts-ice.shtml>

Luettu 16.2.2016

Stieff, M., Bateman, R. C., Jr., & Uttal, D. H. (2005). Teaching and learning with three-dimensional representations. In J. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 93-120). Dordrecht: Springer.

Stillinger, F. H. (1975). Theory and molecular models for water. In I. Prigogine, & S. A. Rice (Eds.), *Advances in chemical physics, volume XXXI* (pp. 2-101) Wiley.

Tasker, R. (2015). Research into practice: Visualising the molecular world for a deep understanding of chemistry. *Teaching Science*, 60(2), 16-27. Retrieved from

<http://exlibris-pub.s3.amazonaws.com/aboutEric.html>;

<http://asta.edu.au/resources/teachingscience>

Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.

Tro, N. J. (cop. 2008). *Chemistry : A molecular approach*. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall.

Tsaparlis, G. (2009). Learning at the macro level: The role of practical work. In J. K. Gilbert, & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 109-136) New York: Springer.

Tseng, C., Tuan, H., & Chin, C. (2013). How to help teachers develop inquiry teaching: Perspectives from experienced science teachers. *Research in Science Education*, 43(2), 809-825.

Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi* (5., uud. laitos.). Helsinki: Tammi.

VanLoon, G. W., & Duffy, S. J. (cop. 2011). *Environmental chemistry : A global perspective* (3rd ed.). Oxford: Oxford University Press.

Ventakaraman, B. (2009). Visualization and interactivity in teaching of chemistry to science and non-science students. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 62-69.

- Wardle, J. (2004). Handling and interpreting data in school science. In R. Barton (Ed.), *Teaching secondary science with ICT* (pp. 107-126). Maidenhead: Open university press.
- Wellington, J. (2004). Multimedia in science teaching. In R. Barton (Ed.), *Teaching secondary science with ICT* (pp. 87-103). Maidenhead: Open university press.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112.
- Zumdahl, S., & Zumdahl, S. A. (2006). *Chemistry* (7th ed.). Boston, MA: Houghton Mifflin

9 Liitteet

Liite 1: Tutkitut oppikirjat

A1: Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2004. *Kide 1: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa* 1.-2. p. Helsinki: Otava

A2: Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2004. *Kide 2: Kemian mikromaailma* 1. p.

B1: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. ja Salo, K. 2007. *Reaktio 1: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa* 1.-4. p. Helsinki: Tammi

B2: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Reaktio 2: Kemian mikromaailma* 1.-2. p. Helsinki: Tammi

C1: Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L. 2009. *Mooli 1: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa* 1.-5.p. Helsinki: Otava

C2: Lehtiniemi, K. ja Turpeenoja, L. 2005. *Mooli 2: Kemian mikromaailma* 1. p. Helsinki: Otava

D1: Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K.-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. 2007. *Kemisti 1: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa* 1.-2. p. Helsinki: WSOY

D2: Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K.-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. ja Mäkelä, R. 2005. *Kemisti 2: Kemian mikromaailma* 1. p. Helsinki: WSOY

Alustavassa analyysissä lisäksi:

Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2005. *Kide 3: Reaktiot ja energia* 1. p. Helsinki: Otava

Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2006. *Kide 4: Metallit ja materiaalit* 1. p. Helsinki: Otava

Kalkku, I., Kalmi, H. ja Korvenranta, J. 2006. *Kide 5: Reaktiot ja tasapaino* 1. p. Helsinki: Otava

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Reaktio 3: Reaktiot ja energia* 1. p. Helsinki: Tammi

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2006. *Reaktio 4: Metallit ja materiaalit* 1. p. Helsinki: Tammi

Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. ja Pihko, P. 2007. *Reaktio 5: Reaktiot ja tasapaino* 1. p. Helsinki: Tammi

Liite 2: Kaikki taulukoidut maininnat vedestä analysoiduissa oppikirjoissa

VK=vesikokonaisuudessa

K=vesi kemiallisena aineena

L=vesi luonnossa/luonnonvarana

T=talousvesi

LT=lisätietosivu tai -ruutu

Taulukko kattaa sivut (79-85)

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
A1	vesimolekyylin kovalenttiset sidokset, marginaalissa myös pallotikkumalli ja rakennekaava	kovalenttinen sidos		X			X	
	lyhyt kappale siitä, miten vettä on kaikkialla	kovalenttinen sidos	X		X		X	
	vesi on poolinen aine (siksi varautunut sauva vetää vettä puoleensa), pallomalli ja rakennekaava osittaisvarauksin marginaalissa	kovalenttinen sidos	X	X			X	
	veden kiehumispiste ja vetysidos, marginaalissa kuva vetysidoksista ja taulukko H ₂ X-tyyppisten molekyylien kiehumispisteistä suhteutettuna molekyylien massa	veden ominaisuudet johtuvat poolisuudesta	X	X			X	
	nestemäisen veden ja jään tiheys, jään rakenne kaksiulotteisena kuvana	veden ominaisuudet johtuvat poolisuudesta	X	X			X	
	vesi liuottimena, kemiallisesti puhdas vesi harvinaista sillä talousvesiin ja luonnonvesiin liuennut muita aineita, liukoisuus riippuu lämpötilasta	Vesi liuottimena	X	X	X	X	Kaavio	
	Poolisena liuottimena vesi liuottaa parhaiten poolisia molekyyliarakenteisia aineita	Vesi liuottimena	X	X				
	Suolien liukeneminen veteen, hydratoituminen, kylläinen liuos, kuvina pallomalli suolan hydratoitumisesta ja suolasta kylläisessä liuoksessa	Vesi liuottimena	X	X			X	

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
A1	Luonnonvedet, makean veden epätasainen saatavuus, puhtaan juomaveden puute		X		X	X	Valokuva	X
	Kova vesi	Liuosten pitoisuus		X	X	X	X	X
A2	Vesimolekyyli esimerkkinä poolisesta molekyylistä	Molekyylien poolisuus		X				
	Vesi, ammoniakki ja metaani taulukkona "tavallisimmat 3. jakson epämetallien vety-yhdisteet"	Molekyylien poolisuus		X			X	
	Marginaalissa kaavio (=kuva) vesimolekyylien sitoutumisesta toisiinsa vetysidoksin	Vetysidos					X	
	Marginaalissa kaavio vety-yhdisteiden kiehumispisteistä	Vetysidos		X				
	Pintajännitys, mistä johtuu, miksi vedellä poikkeuksellisen suuri, madalluttaminen pesuaineilla	Nesteiden ominaisuuksia		X			X, pesuainet- on ja pesuainetta sisältävä vesi, johon pudotetaan kangaspala	
	Kuvaaja kylläisen vesihöyryn paineesta lämpötilan funktiona	Nesteestä kaasuksi		X				
	Vertailua siitä, miten aineet liukenevat veteen tai muihin liuottimiin	Kiteisten aineiden liukeneminen		X				
	Hydratoituminen	Kiteisten aineiden liukeneminen		X				
	Kuva ja kuvateksti kertakäyttövaippojen vettä sitovista polymeerirakeista, joista veden saa irtoamaan hydratoitumisilmiön avulla	Kiteisten aineiden liukeneminen					Valokuva	
	Kidevesi (sis. laskutehtävän)	Kiteisten aineiden liukeneminen		X				
	Vesimolekyylin v-muoto selitettynä tetraedrisen rakenteen ja kahden vapaan elektroniparin avulla	Elektroniparien vaikutus molekyylin muotoon		X			X	

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
A2	Hydratoituminen sanaselitys			X				
B1	Veden suolapitoisuuden määrittäminen -tutkimus			X	X	X		
	Vesi esimerkkinä kemiallisesta yhdisteestä	Aineiden luokittelu		X			Luokitteluun	
	Veden molekyylikaavan perustelu sillä, miten monta sidosta H- ja O-atomit voivat muodostaa	Kovalenttinen sidoks		X			X	
	Kuvia vesimolekyylien välisistä vetysidoksista	Poolisten molekyylien väliset sidokset		X			X	
	Veden liikkeessä vetysidoksia katkeaa ja muodostuu koko ajan	Heikkojen sidosten katkeaminen ja uudelleen muodostumi- nen		X			X	
	Vaippojen vedensitomisoimisominaisuudet ja ruokasuola demo 1:ssä, mutta selitystä ei anneta						X	
	Vesi esimerkkinä poolisesta liuotimesta	Liukoisuus		X			X	
	Poolisten molekyylien liukeneminen veteen	Poolisten aineiden liukeneminen		X				
	Kuva Na ⁺ -ionista liuenneena veteen	Ioniyhdistei- den liukeneminen poolisiin liuottimiin		X			X	
	Hapan vesiliuos ja emäksinen vesiliuos	Happamuus		X			X	
	Vesi esimerkkinä amfolyytistä	Amfolyytit		X				
	Oksoniumionin ja hydroksidi- ionin välinen reaktio	Suolat		X				
B2	Vesi esimerkkinä molekyylistä, jossa kovalenttisia sidoksia	Kovalenttisen sidoksen kertaus		X			X	
	Vesimolekyylin rakennekaava sidoskulmineen	Miksi tarvitaan parempaa sidosmallia?		X			X	

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
B2	Vesimolekyylin sidoskulman perustelu happiatomin sp^3 -hybridisaatiolla ja kahdella vapaalla elektroniparilla	Happiatomin sp^3 -hybridisaatio		X			X	
	Kuva vetysidoksista vesimolekyylien välillä	Heikot sidokset		X			X	
	Jää esimerkkinä siitä, miten heikot sidokset voivat olla suhteellisen lujia, kuvatekstissä verrataan jäätä vastaavan paksuiseen teräkseen	Heikot sidokset		X	X		Valokuva	
	Hydratoituminen, kuvat NaCl:n liukenemisesta veteen ja Na^+ -ionin hydraattiverhosta	Ioni-dipoli-sidos		X			X	
	Kidevedelliset suolat			X			Valokuva	
	Kuvat glukoosista, K^+ :sta ja NO_3^- :sta veteen liuenneina	Liukoisuus		X			X	
	Taulukko joidenkin ioniyhdisteiden liukoisuudesta veteen	Liukoisuus		X				
	Taulukko joidenkin kaasujen liukoisuudesta veteen ja selitystä. Kaasujen liukoisuus veteen kasvaa kun paine kasvaa.	Liukoisuus		X	X			
C1	Veden merkitys luonnossa ja ihmiselle, joitain veden ominaisuuksia (vetysidokset -> korkea sulamis- ja kiehumispiste, ominaislämpökapasiteetti)	veden ominaisuudet	X	X	X			
	Jäätymisen, veden ja jään rakenne	veden ominaisuudet	X	X			X	
	Kapillaari-ilmiö	veden ominaisuudet	X	X				
	Pintajännitys	veden ominaisuudet	X	X	X	X		
	Kokeellinen työ: kuparisulfaatin kidevesimolekyylien lukumäärän määrittäminen			X				
	Liukoisuustyöt			X				
	Veden merkitys luonnossa	Aineen olomuodot		X	X			

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
C1	Veden kolmen olomuotoa ja mallintaminen hiukkastasolla (pallotikkumalli)	Aineen olomuodot		X	X		X	
	Vesi esimerkkinä poolisesta molekyylilyhdisteestä + vesimolekyylin elektronitiheyskartta	Aineiden luokittelu		X			X	
	Kuva vetysidosten muodostumisesta vesimolekyylien (rakennekaava) välille, kuvateksti kertoo sen selittävän mm. veden korkean kiehumiseen	Vetysidos		X			X	
	Kaivovesitutkimus: tiedot kahdesta näytteestä, oppilaan haettava laatuvaatimukset netistä ja vastattava kysymyksiin					X		
	Juomavesi					X	Valokuvia	X
	Lyhyt selitys kidevedestä moolimassan laskemiseen liittyen	Konsentraatio-laskut		X			Valokuva	
	Kideveden määritelmä			X				
C2	Lyhyt kappale veden tärkeydestä		X	X	X		Valokuva	
	Pintajännitys (selitetään vetysidoksella)	Veden erityisominaisuudet	X	X			X	
	Veden ja jään tiheys + kuva ja tiheyskaavio	Veden erityisominaisuudet	X	X			X	
	Veden korkea kiehumispiste (selitys vetysidoksilla)	Veden erityisominaisuudet	X	X			X	
	Vesi liuottimena, diffuusio, kylläinen liuos, kuva sokerin ja ruokasuolan liukenemisesta veteen	Vesi liuottimena	X	X			X	
	Poolisten ja poolittomien aineiden liukoisuus veteen	Vesi liuottimena	X	X			Valokuva	
	Ioniyhdisteiden liukeneminen veteen, kuva NaCl:n liukenemisesta	Vesi liuottimena	X	X			X	

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
C2	Kidevesi, hygroskooppinen aine, niukkaliukoiset suolat	Vesi liuottimena	X	X				
	Lämpötilan vaikutus (veteen) liukenemiseen		X	X	X		X	
	Osmoosi		X	X	X			
	Vesimolekyylin muoto selitettynä sitoutuneiden ja vapaiden elektroniparien avulla			X			X	
	Työ: osmoosin tutkiminen perunalla: perunanpaloja erivahvaisissa suolaliuoksissa			X	X			
	Työ: kidevedellisen suolan kaavan määrittäminen			X				
	Akvaionin, Hygroskooppisen aineen, kideveden, kylläisen liuoksen, osmoosin ja ylikylläisen liuoksen määritelmät			X				
D1	Vesi koostuu vesimolekyyleistä	Millaisista rakenneosista eri aineet koostuvat		X			X	
	Maininta aineen poolisuuden vaikutuksesta sen vesiliukoisuuteen	Poolisuus		X				
	Vesimolekyyliä esimerkkinä olomuodonmuutoskaaviossa	Olomuodonmuutos		X			X	
	Maininta, että vesiliuoksessa aina oksonium- ja hydroksidi-ioneja	Hapon ja emäksen määritelmä		X				
	Vesi esimerkkinä amfolyyttisestä aineesta			X				
	Vesijohtovesi esimerkkinä seoksesta	Aineiden luokittelu		X		X		
	Hydratoituminen	Liukeneminen		X			X	
	marginaalissa kuva vetysidoksesta veden ja etanolin välillä (vetysidos mainitaan tekstissä)	Liukeneminen		X			X	
	Hygroskooppinen aine	Liukeneminen		X				
	Hydratoitumisen, hygroskooppisuuden, osmoosin ja vesiliukoisuuden määritelmät							

oppi - kirja	aihe	konteksti	V K	K	L	T	sis. kuvan	L T
D2	Kuva jäästä ja jään rakenteesta (pallotikkumalli), kuvatekstissä mainitaan vetysidokset ja molekyylihila	Heikot sidokset			X		X	
	Kidevesi	Ionisidos			X		valokuva	
	Vesimolekyyli esimerkkinä siitä, miten vapaat elektroniparit vaikuttavat molekyylin muotoon ja miten symmetria vaikuttaa poolisuuteen	Sidosten vaikutus aineen ominaisuuksiin. Ei vielä kvanttimekaaninen atomimalli			X		X, poolisuudesta	
	Kideveden määritelmä				X			

Liite 3: Lista aiheista, joihin vesi liittyy analysoiduissa oppikirjoissa

1. kurssi: Ihmisen ja elinympäristön kemiaa

Vesi esimerkkinä yhdisteestä B1 tai seoksesta D1

Vesimolekyyli poolisena molekyylinä A1, C1

Vesi liuottimena A1, B1, (D1)

Suolojen liukeneminen veteen A1, B1, D1

Hygroskooppisuus (B1), D1

Vesi happamiin ja emäksisiin liuoksiin liittyen B1, D1

- Vesi amfolyytti B1, D1

Vetysidos B1, C1

Vesi esimerkkinä aineen olomuodoissa C1, D1

Veden molekyylikaavan perustelu sillä, miten monta sidosta H- ja O-atomit voivat muodostaa B1

Juomavesi A1, C1

Vesi luonnonvarana A1, C1

Vesimolekyylin kovalenttiset sidokset A1

Veden kiehumispiste ja vetysidos A1

Nestemäisen veden ja jään tiheys A1

Kova vesi A1

Vesiliuokset (veden suolapitoisuuden määrittäminen –tutkimus) B1

Kidevesi C1

Vesi koostuu vesimolekyyleistä D1

2. kurssi: Kemian mikromaailma

Vesimolekyyli esimerkkinä kovalenttisia sidoksia sisältävästä molekyylistä B2

Vesimolekyyli esimerkkinä poolisesta molekyylistä A2

- Ja miten symmetria vaikuttaa poolisuuteen D2

Vetysidos A2, B2, (D2)

Heikkojen sidosten vahvuus esimerkki B2

Liukoisuus ja vesi liuottimena A2, B2, C2

Hydratoituminen A2, B2, C2

Hygroσκοoppisuus C2

Veden korkea kiehumispiste B2, C2

Veden ominaislämpökapasiteetti B2

Pintajännitys A2, B2, C2

Kapillaari-ilmiö B2

Osmoosi C2

Veden ja jään rakenne B2, C2, D2

Kidevesi A2, B2, C2, D2

Veden merkitys luonnossa ja ihmiselle (mutta ei lähde käsittelemään juomavettä) B2, C2

Vesi vertailtuna ammoniakkiin ja metaaniin A2

Vesi nesteestä kaasuksi A2

Diffuusio C2

Liite 4: Kysymyslomake

Kysely

Kyselyn vastauksia käytetään aineistona pro gradu –työhöni ja työohjeen parantamiseen. Vastaaminen tapahtuu nimettömänä. Vastauksilla ei ole vaikutusta kurssiarvosanaasi, eikä opettajasi näe niitä. Vastaa mahdollisimman rehellisesti. Kiitos avunannostasi graduani varten!

Taustatiedot:

1. Suoritan parhaillaan lukion kemian kurssia:

1

2

3

4

5

työkurssi

muu, mikä _____

2. Olen suorittanut lukion kemian kurssit:

1

2

3

4

5

Muita, mitä _____

3. Oppikirjasarja, jonka mukaan opiskelen _____

4. Aikaisempi kokemus kokeellisesta työskentelystä

a. ei yhtään

b. Olen tehnyt kokeellisia töitä 1-2 kertaa vuodessa

c. Olen tehnyt jonkin verran kokeellisia töitä

d. Ainakin osalla suorittamistani kemian kursseista käytetty kokeellisia töitä säännöllisesti opiskelussa

e. Kaikilla suorittamillani kemian kursseilla on käytetty kokeellisia töitä opiskelussa säännöllisesti

5. Aion kirjoittaa kemian ylioppilaskirjoituksissa

a. kyllä

b. ei

c. en tiedä

6. Äidinkieli _____

7. Sukupuoli _____

Tutkimuskysymykset:

8. Millaisia asioita opit työstä?

9. Miten käsitykseni vedestä muuttui työn ansiosta?

Arvioi väittämiä 10, 12 ja 14-16 asteikolla 1= täysin eri mieltä, 5=täysin samaa mieltä

10. Työ auttoi minua kertaamaan aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja. 1 2 3 4 5

11. Mitä?

12. Työ auttoi minua syventämään aikaisemmilla kursseilla opittuja tietoja. 1 2 3 4 5

13. Mitä?

14. Työ auttoi minua yhdistämään veden mikrotason (= atomi- ja molekyylitaso) ilmiöt veden käyttäytymiseen makrotasolla (= aistein havaittava taso). 1 2 3 4 5

15. Tutkimuksellinen opiskelu (työssä käytetty oppimismenetelmä) tuntui minusta mielekkäältä.

1 2 3 4 5

16. Olisin mieluummin opiskellut työhön liittyviä kemian sisältöjä muulla tavalla. 1 2 3 4 5

17. Miten?

18. Kokeellisen työn ohje oli

- a. liian avoin
- b. sopiva
- c. liian tarkasti työtä rajaava

19. Oliko kokeellisessa työssä jotain, mikä ei toiminut? Miksi?

20. Vapaa sana. Kommentteja lomakkeesta, aiempien vastausten täsmennystä, muuta palautetta

Liite 5: Ensimmäinen kehittämistuotos: oppilaan ja opettajan ohjeet

Oppilaan ohjeet

Mitä piilee talousvedessä?

Työ koostuu neljästä osasta, virittäytymisestä, taustatietoihin tutustumisesta, tutkimusosasta ja koonnista

I Virittäytyminen

Palattuaan ulkomaanmatkalta kotiinsa maalle Virtasen pariskunta tapasi naapurin Lahtiset yllättäen mökillään. Lahtiset olivat tulleet mökille, koska kaupungissa oli vesijohtolaitoksen jakamaan veteen päässyt jotain haitallisten pieneliöiden määrää lisäävää ainetta. Ihmiset joutuivat juomaan pelkkää pullovettä.

Lahtiset suunnittelivat kaivovetensä laadun tutkimista ja kehottivat myös Virtasia tekemään samoin. Virtasten mielestä Lahtiset hätäilivät turhaan. ”Ihan kirkasta vettähän se on”, rouva Virtanen sanoi. ”Tutkitaan sitten, jos sinne näyttää ilmestyvän jotain haitallista”. Pian hän huomasi hampaassaan epäesteettisen laikun ja sai neuvon kaivoveden tutkimisesta kiireellisenä hammaslääkäriltään...

Vastaa kysymyksiin ja aloita vesinäytteen alkutietolomakkeen täyttäminen

1. Voiko juomaveden laadun päätellä aistinvaraisesti?
2. Mitä vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä Virtasten kaivossa saattaa olla?
3. a. Onko ryhmänne vesinäyte puhdasta ainetta?
b. Miksi/miksi ei?
4. a. Uskotko näytteen veden olevan juomakelpoista?
b. Miksi/miksi ei?

II Tietoa talousveden laatuun vaikuttavista tekijöistä ja niiden tutkimisesta

Mistä tiedetään, onko vedessä esimerkiksi epäorgaanisia anioneja tai arseenia?
Juomaveden laatua voi tutkia erilaisin testein. Epäorgaanisten anionien

(negatiivisten ionien) pitoisuuksia tutkitaan ionikromatografialla johtokykyilmaisinta käyttäen. Myös kationeja voi tutkia samalla tavalla.

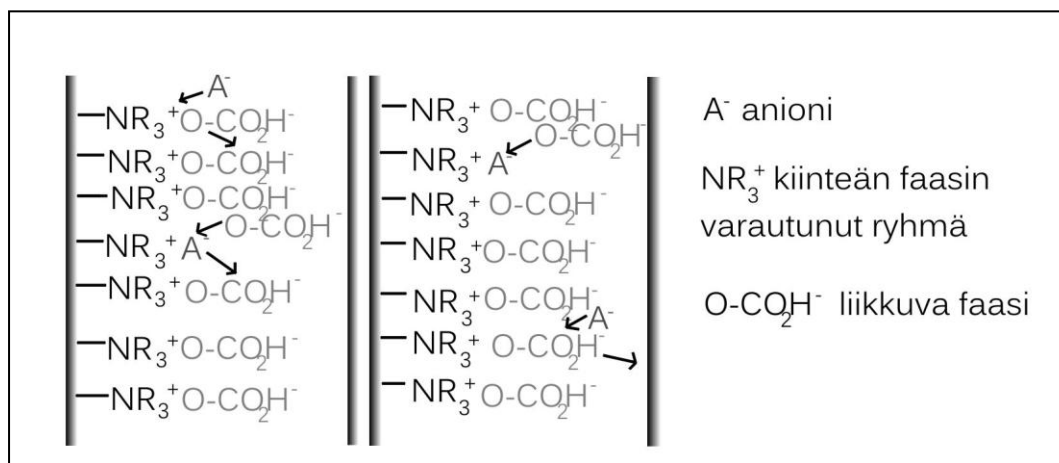
Kromatografia on analyysimenetelmä ainesseoksessa olevien kemiallisesti samankaltaisten aineiden erottamiseen toisistaan ja tunnistamiseen. Erottaminen tapahtuu pääasiassa kahden eri faasin, kiinteän ja liikkuvan faasin, välillä.

Ionikromatografia on nestekromatografian sovellus, jossa erotetaan kationeja ja anioneja kolonneilla, joiden erotustapa perustuu ioninvaihtoon, ionipareihin ja ioniekskluusioon. Ionikromatografian tarkoitus on ionien erottaminen. Ionikromatografiassa kiinteä ja liikkuva faasi kilpailevat analysoitavasta ionista.

Ioninvaihto tarkoittaa liuoksessa olevien kationien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin kationeihin tai anionien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin anioneihin.

Anionien tutkiminen ionikromatografialla

Käyttämässämme laitteessa näyte pumpataan liikkuvan faasin kanssa kiinteänä faasina toimivan kolonnin läpi.



Anionit ja liikkuva faasi kulkevat kolonnin läpi sitoutuen vuorotellen sen varautuneisiin ryhmiin

Anionien erottuminen tapahtuu kolonnissa, kun liikkuva faasi ja näytteen anionit kilpailevat kiinteän faasin varautuneista paikoista. Anioni kulkee

kolonnin läpi, kun sen ja kiinteän faasin välille vuoroin muodostuu ja vuoroin hajoaa sidoksia. Eri anionit kulkevat ioninvaihtokolonnin läpi eri ajassa riippuen sidoksen vahvuudesta. Läpi kulkemiseen kuluva aika kutsutaan retentioajaksi. Laite vertaa retentioaikoja standardiliuokseen, jonka pitoisuudet tunnetaan.

Ionit tunnistetaan johtokykydetektorissa, joka mittaa liuoksen sähkönjohtokykyä. Sähkönjohtokyky kuvaa vain ionien pitoisuutta. Siitä ei voi päätellä, mikä ioni on kyseessä, vaan se määritetään retentioaikojen avulla.

Arseeni As^{3+} : Korkea pitoisuus voi lisätä syöpäriskiä. Ei voi tunnistaa hajun tai maun perusteella. Esiintyy pääasiassa kallioporakaivoissa.

Bromidi Br^- : Ei sellaisenaan terveydelle haitallista. Vedenpuhdistuksen yhteydessä voi hapettua bromaatiksi. Suolaisessa vedessä on bromidia, joten sitä voi olla juomavedessä esimerkiksi, jos merivettä on sekoittunut kaivoveteen.

Bromaatti BrO_3^- : Lisää syöpäriskiä.

Fluoridi F^- : Liika saanti aiheuttaa laikkuja hampaisiin ja haurastuttaa luita. Liiallinen saanti hampaiden muodostuksen aikana aiheuttaa hammaskiilteen muodostumishäiriön. Ei näy eikä maistu vedessä.

Fosfaatti PO_4^{3-} : Voi lisätä pieneliöiden jälkikasvua vesijohtoverkostossa silloin, kun muita ravinteita on riittävästi vedessä. Voi joutua veteen runsaasti lannoitetusta maaperästä liuenneena tai jätevedestä.

Kloridi Cl^- : Korkea pitoisuus voi aiheuttaa putkiston syöpymistä, jolloin veteen liukenee kuparia tai rautaa. Kloridipitoista vettä esiintyy vanhoilla merenpohja-alueilla sekä jätevesien ja tiesuolauksen seurauksena.

Kupari Cu^{2+} : Voi värjätä vaalean pyykin tai hiukset vihreiksi tai aiheuttaa vihreitä tahroja kylpyhuoneen kalusteisiin. Aiheuttaa karvasta makua. Suurina pitoisuuksina kuparisuolat voivat aiheuttaa maha-suolitulehduksen. Liukenee usein vesijohtomateriaaleista.

Mangaani Mn^{2+} : Voi näkyä vedessä mustana sakkana, joka on usein öljymäistä ja haisee pahalle. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Liiallisena aiheuttaa pahaa makua.

Nitraatti NO_3^- : Muuttuu nitriiteiksi ja syöpävaarallisiksi nitrosoamiineiksi. Runsaasti nitraattia sisältävää vettä ei saa antaa raskaana oleville, pienille lapsille tai imettäville äideille. Ei näy eikä maistu vedessä. (Jos tulee lannoitteen mukana keväisin, vesi voi maistua imelälle.)

Nitriitti NO_2^- : Muuttaa veren hemoglobiinia niin, että se ei pysty kuljettamaan hapetta soluille. Nitriitti on vaarallisinta imeväisikäisille lapsille. Myös nitriitti muuttuu nitroamiineiksi. Ei näy eikä maistu vedessä.

Rauta $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$: Värjää veden ruskeaksi. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Saattaa jättää ruskeita tahroja. Saa veden maistumaan ruosteelta. Ei ole vaarallista terveydelle.

Sulfaatti SO_4^{2-} : Suurina annoksina laksatiivinen vaikutus eli stimuloi suolen toimintaa. Jatkuva saanti nostaa ärsytyskynnystä. Voi liittyä rikkivedyn esiintymiseen, jolloin vedessä ilmenee maku- ja hajuhaittoja. Muussa tapauksessa ei. Rannikkoseutuja lukuun ottamatta pitoisuus on yleensä alhainen.

Happamuus: Aiheuttaa putkien liukenemista, jolloin veteen voi liueta kuparia ja rautaa. Ei terveyshaittoja.

Lisäksi juomavedestä voidaan tutkia mm. bakteereita, radon, uraani, ammonium, sähkönjohtavuus, sameus, väriluku ja muita metalleja, kuten alumiini, elohopea ja lyijy.

III Tutkimus

Ota toiseksi vesinäytteeksi ionivaihdettua vettä. Täytä alkutietolomake molemmista vesinäytteistä. Mittaa pH pH-paperilla. Käy vuorollasi mittaamassa vesinäytteen anionipitoisuudet ionikromatografilla ja kirjaamassa tiedot koneelle.

TARVIKKEET JA REAGENSIT

- 🔥 Vesinäyte
- 🔥 Vertailunäyte ionivaihdettua vettä
- 🔥 Ionikromatografi
- 🔥 pH-paperi
- 🔥 bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattistandardiliuos

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Suojatakki ja -lasit.

Nestemäiset jätteet hävitetään viemäriin, kiinteä jäte sekajätteisiin.

Alkutiedot: Vesinäyte

1. Vesinäyte on otettu: _____
2. Mistä vesi tulee alun perin (esim. Pääjänne): _____
3. Veden väri: _____
4. Veden maku (jos juomakelpoista) *Muista, ettei laboratorioluokassa saa juoda!*

5. Veden haju: _____
6. Jättääkö vesi tahroja? Ei/Kyllä, millaisia? _____
7. Erottuuko vedestä sakkaa? Ei/Kyllä, millaista? _____
8. Onko veden pinnalla kalvoa? Ei/Kyllä, millainen? _____
9. Tiedätkö veden juomisen aiheuttaneen terveyshaittoja? Ei/Kyllä, millaisia?

10. pH noin _____

Alkutiedot: Vertailunäyte - Ionivaihdettu vesi

1. Vesinäyte on otettu: _____
2. Veden väri: _____
3. Veden haju: _____
4. Jättääkö vesi tahroja? Ei/Kyllä, millaisia? _____
5. Erottuuko vedestä sakkaa? Ei/Kyllä, millaista? _____
6. Onko veden pinnalla kalvoa? Ei/Kyllä, millainen? _____
7. Tiedätkö veden juomisen aiheuttaneen terveyshaittoja? Ei/Kyllä, millaisia?

8. pH noin _____

Ionikromatografi:

Mittaa vesinäytteestäsi ionikromatografilla epäorgaanisten anionien pitoisuus. Noudata ionikromatografian ohjeita.

Käyttämällämme standardiliuoksella voi määrittää vesinäytteen bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.

Katso pitoisuudet yksiköllä ppm. 1 ppm = 1 mg/l

Näytteen pitoisuudet:

Bromidi:

Fluoridi:

Fosfaatti:

Kloridi:

Nitraatti:

Sulfaatti:

Käy tämän jälkeen merkitsemässä pitoisuudet taulukkoon luokan edessä olevalle koneelle. Merkitse muistiin, mikä numero on oma näytteesi!

Etsi netistä tietoa juomaveden kemiallisista laatuvaatimuksista ja tutki, mitkä tarkasteltavien ionien raja- ja suositusarvot ovat.

Fluoridi: mg/l

Kloridi mg/l

Nitraatti mg/l

Sulfaatti mg/l

pH

Bromidilla ei ole raja-arvoa

Fosfaatilla ei ole virallista raja-arvoa, mutta esimerkiksi vedenpuhdistimia myyvät yritykset voivat antaa suositusarvoja. Löydätkö jonkin?

Kysymyksiä:

1. Voitko päätellä omasta vesinäytteestäsi jotain taustatietojen avulla?
2. Havaitsitko eroja vesinäytteiden välillä?
3. Mitä Virtasten kannattaisi tutkia omasta kaivostaan?
4. Olivatko oman näytteen pitoisuudet raja- tai suositusarvojen alapuolella?
5. Voisiko tämän tutkimuksen perusteella julistaa minkä tahansa vesinäytteen juomakelpoiseksi?

IV Koonti

Lopuksi tarkastellaan kaikkien näytteiden anionipitoisuuksia taulukosta

- Huomaatko jonkin näytteen poikkeavan selvästi muista?
- Mikä näyte on ionivaihdettua vettä?

Miten ionivaihdettu vesi eroaa hanavedestä?

Miksi astiat huuhdellaan Gadolinissa ionivaihdetulla vedellä?

Miksi ionivaihdettua vettä ei kuitenkaan käytetä juomavetenä?

Milloin vesi on kemiallisesti puhdas aine ja milloin seos?

Mallinnusohje

Mitä vesi on?

Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?

- mitä atomeja, molekyyliä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Mallinna sen jälkeen vettä Spartan-ohjelmalla.


Pikaopas Spartaniin (lisää ohjeita harjoitusten jälkeen)

Aluksi



Valitse Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä.
- Jos et jaksaa lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyjä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna hydrogens. Pääset takasin mallin rakennukseen valitsemalla 
- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa. Näin voit tehdä mallistasi kolmiulotteisemman.

Luo malli, joka kuvaa vettä. Jatka sen jälkeen harjoituksiin.

Harjoituksia

1. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellet lisää tai poista atomeja.
2. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käänellä mallia samoin kuin Spartaniissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?

3. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa kun vesimolekyylien joukkoon lisätään ioni? Testaa eri ioneja.
4. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse ylemmästä oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään ”water” ja paina Etsi!/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvistä valikosta Pinnat → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käänellä molekyyliä samoin kuin Spartanissa.

Yksityiskohtaisempia ohjeita Spartanin käyttöön

Energian minimointi

Salaman kuva alareunassa. Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka edustaa paikallista tai globaalia energiaminimiä.

Vetysidokset

Löytyy Model-valikosta.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi. Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni.

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

Pohdintaa:

- Eroaako tietokoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

Opettajan ohjeet:

Työn suoritus: Opiskelijat virittäytyvät aiheeseen lukemalla taustatarinan ja vastaamalla kysymyksiin sen jälkeen. Jos opiskelijoilla ei ole omia vesinäytteitä mukana, ne hankitaan/annetaan tässä vaiheessa.

Tutkimusvaiheessa kukin ryhmä ottaa vertailunäytteeksi ionivaihdettua vettä. Kukin opiskelija/ryhmä käy vuorollaan mittaamassa näytteensä anionipitoisuudet ionikromatografilla ja merkitsemässä ne luokan edessä olevalle tietokoneelle taulukkoon. Ionivaihdetun veden mittaa vain yksi ryhmä tai ohjaaja liittää valmiiksi tiedossa olevat arvot taulukkoon muiden joukkoon. Jos kyseessä on suuri ryhmä, mittaamisen voi aloittaa heti, kun ensimmäiset opiskelijat ovat tutustuneet taustatietoihin.

Samaan aikaan mittaamisen kanssa opiskelijat täyttävät alkutietolomakkeen molemmista näytteistä, etsivät netistä fluoridin, kloridin nitraatin, sulfaatin ja pH:n raja- ja suositusarvot ja vastaavat monisteen kysymyksiin.

Kun kaikki opiskelijat/ryhmät ovat käyneet ionikromatografilla, työ kootaan yhdessä. Koonnissa ohjaaja näyttää vesinäytteiden tiedot dataprojektorilla luokan edessä ja opiskelijoiden pitäisi tunnistaa joukosta ainakin ionivaihdettu vesi.

Mitä piilee talousvedessä?

Kohderyhmä: Työ sopii parhaiten tehtäväksi lukion kursseilla KE1 ja KE2

Kesto: 40-70 min

Tavoite: Työn tavoitteena on oppia veden laatuun vaikuttavista ioneista ja miten niiden pitoisuuksia voidaan mitata ionikromatografialla. Työssä on tarkoitus oppia myös muista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä kuten pH ja ymmärtää, että arjessa kohtaamamme vesi on oikeastaan homogeeninen seos.

Kokeellinen työ muodostaa yhdessä mallinnuksen kanssa kokonaisuuden, jossa tavoitteena on, että opiskelija kertaa vedestä oppimaansa ja ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla.

Avainsanat: Ionikromatografia – Ioni – Pitoisuus – Kvantitatiivinen analyysi – Veden laatu – Puhdas aine ja seos – Arkipäivän kemia

Työ koostuu neljästä osasta, virittäytymisestä, taustatietoihin tutustumisesta, tutkimusosasta ja koonnista

I Virittäytyminen

Palattuaan ulkomaanmatkalta kotiinsa maalle Virtasen pariskunta tapasi naapurin Lahtiset yllättäen mökillään. Lahtiset olivat tulleet mökille, koska kaupungissa oli vesijohtolaitoksen jakamaan veteen päässyt jotain haitallisten pieneliöiden määrää lisäävää ainetta. Ihmiset joutuivat juomaan pelkkää pullovettä.

Lahtiset suunnittelivat kaivovetensä laadun tutkimista ja kehottivat myös Virtasia tekemään samoin. Virtasten mielestä Lahtiset hätäilivät turhaan. ”Ihan kirkasta vettähan se on”, rouva Virtanen sanoi. ”Tutkitaan sitten, jos sinne näyttää ilmestyvän jotain haitallista”. Pian hän huomasi hampaassaan epäesteettisen laikun ja sai neuvon kaivoveden tutkimisesta kiireellisenä hammaslääkäriltään...

Vastaa kysymyksiin ja aloita vesinäytteen alkutietolomakkeen täyttäminen

5. Voiko juomaveden laadun päätellä aistinvaraisesti?
6. Mitä vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä Virtasten kaivossa saattaa olla?
7. a. Onko ryhmänne vesinäyte puhdasta ainetta?
b. Miksi/miksi ei?
8. a. Uskotko näytteen veden olevan juomakelpoista?
b. Miksi/miksi ei?

II Tietoa talousveden laatuun vaikuttavista tekijöistä ja niiden tutkimisesta

Mistä tiedetään, onko vedessä esimerkiksi epäorgaanisia anioneja tai arseenia? Juomaveden laatua voi tutkia erilaisin testein. Epäorgaanisten anionien (negatiivisten ionien) pitoisuuksia tutkitaan ionikromatografialla johtokykyilmaisinta käyttäen. Myös kationeja voi tutkia samalla tavalla.

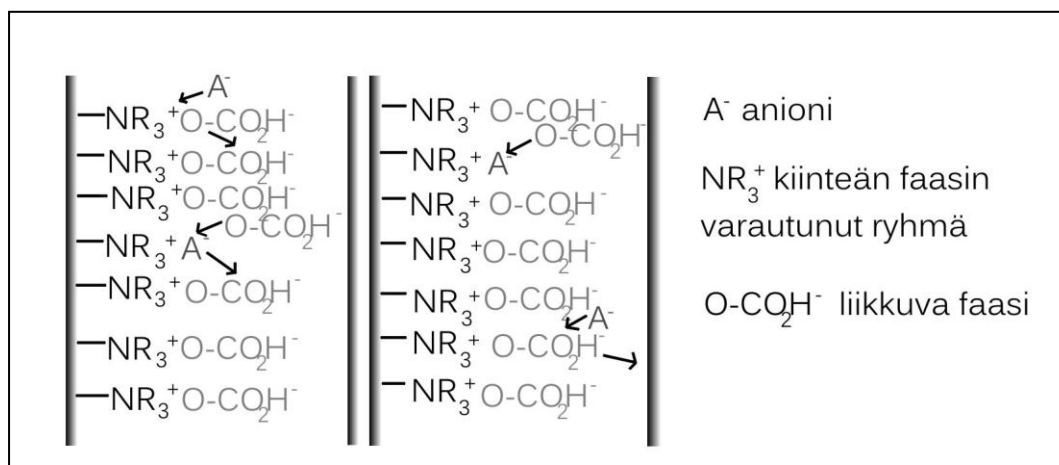
Kromatografia on analyysimenetelmä ainesseoksessa olevien kemiallisesti samankaltaisten aineiden erottamiseen toisistaan ja tunnistamiseen. Erottaminen tapahtuu pääasiassa kahden eri faasin, kiinteän ja liikkuvan faasin, välillä.

Ionikromatografia on nestekromatografian sovellus, jossa erotetaan kationeja ja anioneja kolonneilla, joiden erotustapa perustuu ioninvaihtoon, ionipareihin ja ioniekskluusioon. Ionikromatografian tarkoitus on ionien erottaminen. Ionikromatografiassa kiinteä ja liikkuva faasi kilpailevat analysoitavasta ionista.

Ioninvaihto tarkoittaa liuoksessa olevien kationien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin kationeihin tai anionien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin anioneihin.

Anionien tutkiminen ionikromatografilla

Käyttämässämme laitteessa näyte pumpataan liikkuvan faasin kanssa kiinteänä faasina toimivan kolonnin läpi.



Anionit ja liikkuva faasi kulkevat kolonnin läpi sitoutuen vuorotellen sen varautuneisiin ryhmiin

Anionien erottuminen tapahtuu kolonnissa, kun liikkuva faasi ja näytteen anionit kilpailevat kiinteän faasin varautuneista paikoista. Anioni kulkee kolonnin läpi, kun sen ja kiinteän faasin välille vuoroin muodostuu ja vuoroin hajoaa sidoksia. Eri anionit kulkevat ioninvaihtokolonnin läpi eri ajassa riippuen sidoksen vahvuudesta. Läpi kulkemiseen kuluva aika kutsutaan retentioajaksi. Laite vertaa retentioaikoja standardiliuokseen, jonka pitoisuudet tunnetaan.

Ionit tunnistetaan johtokykydetektorissa, joka mittaa liuoksen sähkönjohtokykyä. Sähkönjohtokyky kuvaa vain ionien pitoisuutta. Siitä ei voi päätellä, mikä ioni on kyseessä, vaan se määritetään retentioaikojen avulla.

Arseeni As^{3+} : Korkea pitoisuus voi lisätä syöpäriskiä. Ei voi tunnistaa hajun tai maun perusteella. Esiintyy pääasiassa kallioporakaivoissa.

Bromidi Br^- : Ei sellaisenaan terveydelle haitallista. Vedenpuhdistuksen yhteydessä voi hapettua bromaatiksi. Suolaisessa vedessä on bromidia, joten sitä voi olla juomavedessä esimerkiksi jos merivettä on sekoittunut kaivoveteen.

Bromaatti BrO_3^- : Lisää syöpäriskiä.

Fluoridi F^- : Liika saanti aiheuttaa laikkoja hampaisiin ja haurastuttaa luita. Liiallinen saanti hampaiden muodostuksen aikana aiheuttaa hammaskiilteen muodostumishäiriön. Ei näy eikä maistu vedessä.

Fosfaatti PO_4^{3-} : Voi lisätä pieneliöiden jälkikasvua vesijohtoverkostossa silloin, kun muita ravinteita on riittävästi vedessä. Voi joutua veteen runsaasti lannoitetusta maaperästä liunneena tai jätevedestä.

Kloridi Cl^- : Korkea pitoisuus voi aiheuttaa putkiston syöpymistä, jolloin veteen liukenee kuparia tai rautaa. Kloridipitoista vettä esiintyy vanhoilla merenpohja-alueilla sekä jätevesien ja tiesuolauksen seurauksena.

Kupari Cu^{2+} : Voi värjätä vaalean pyykin tai hiukset vihreiksi tai aiheuttaa vihreitä tahroja kylpyhuoneen kalusteisiin. Aiheuttaa karvasta makua. Suurina

pitoisuuksina kuparisuolat voivat aiheuttaa maha-suolitulehduksen. Liukenee usein vesijohtomateriaaleista.

Mangaani Mn^{2+} : Voi näkyä vedessä mustana sakkana, joka on usein öljymäistä ja haisee pahalle. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Liiallisena aiheuttaa pahaa makua.

Nitraatti NO_3^- : Muuttuu nitriiteiksi ja syöpävaarallisiksi nitrosoamiineiksi. Runsaasti nitraattia sisältävää vettä ei saa antaa raskaana oleville, pienille lapsille tai imettäville äideille. Ei näy eikä maistu vedessä. (Jos tulee lannoitteen mukana keväisin, vesi voi maistua imelälle.)

Nitriitti NO_2^- : Muuttaa veren hemoglobiinia niin, että se ei pysty kuljettamaan happea soluille. Nitriitti on vaarallisinta imeväisikäisille lapsille. Myös nitriitti muuttuu nitroamiineiksi. Ei näy eikä maistu vedessä.

Rauta Fe^{2+}/Fe^{3+} : Värjää veden ruskeaksi. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Saattaa jättää ruskeita tahroja. Saa veden maistumaan ruosteelta. Ei ole vaarallista terveydelle.

Sulfaatti SO_4^{2-} : Suurina annoksina laksatiivinen vaikutus eli stimuloi suolen toimintaa. Jatkuva saanti nostaa ärsytyskynnystä. Voi liittyä rikkivedyn esiintymiseen, jolloin vedessä ilmenee maku- ja hajuhaittoja. Muussa tapauksessa ei. Rannikkoseutuja lukuun ottamatta pitoisuus on yleensä alhainen.

Happamuus: Aiheuttaa putkien liukenemista, jolloin veteen voi liueta kuparia ja rautaa. Ei terveyshaittoja.

Lisäksi juomavedestä voidaan tutkia mm. bakteereita, radon, uraani, ammonium, sähkönjohtavuus, sameus, väriluku ja muita metalleja, kuten alumiini, elohopea ja lyijy.

III Tutkimus

Ota toiseksi vesinäytteeksi ionivaihdettua vettä. Täytä alkutietolomake molemmista vesinäytteistä. Mittaa pH pH-paperilla. Käy vuorollasi mittaamassa vesinäytteen anionipitoisuudet ionikromatografilla ja kirjaamassa tiedot koneelle.

TARVIKKEET JA REAGENSIT

- 🔥 Vesinäyte
- 🔥 Vertailunäyte ionivaihdettua vettä
- 🔥 Ionikromatografi
- 🔥 pH-paperi
- 🔥 bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattistandardiliuos

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Suojatakki ja -lasit.

Nestemäiset jätteet hävitetään viemäriin, kiinteä jäte sekajätteisiin.

Alkutiedot: Vesinäyte

11. Vesinäyte on otettu: _____
12. Mistä vesi tulee alun perin (esim. Päijänne): _____
13. Veden väri: _____
14. Veden maku (jos juomakelpoista) *Muista, ettei laboratorioluokassa saa juoda!*

15. Veden haju: _____
16. Jättääkö vesi tahroja? Ei/Kyllä, millaisia? _____
17. Erottuuko vedestä sakkaa? Ei/Kyllä, millaista? _____

18. Onko veden pinnalla kalvoa? Ei/Kyllä, millainen? _____

19. Tiedätkö veden juomisen aiheuttaneen terveyshaittoja? Ei/Kyllä, millaisia?

20. pH noin _____

Alkutiedot: Vertailunäyte - Ionivaihdettu vesi

9. Vesinäyte on otettu: _____

10. Veden väri: _____

11. Veden haju: _____

12. Jättääkö vesi tahroja? Ei/Kyllä, millaisia? _____

13. Erottuuko vedestä sakkaa? Ei/Kyllä, millaista? _____

14. Onko veden pinnalla kalvoa? Ei/Kyllä, millainen? _____

15. Tiedätkö veden juomisen aiheuttaneen terveyshaittoja? Ei/Kyllä, millaisia?

16. pH noin _____

Ionikromatografi:

Mittaa vesinäytteestäsi ionikromatografilla epäorgaanisten anionien pitoisuus. Noudata ionikromatografian ohjeita.

Käyttämällämme standardiliuoksella voi määrittää vesinäytteen bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.

Katso pitoisuudet yksiköllä ppm. 1 ppm = 1 mg/l

Näytteen pitoisuudet:

(Hampaiden laikut viittaavat fluoridiin, tietysti kannattaa tutkia muutkin vaaratekijät)

9. Olivatko oman näytteen pitoisuudet raja- tai suositusarvojen alapuolella?

10. Voisiko tämän tutkimuksen perusteella julistaa minkä tahansa vesinäytteen juomakelpoiseksi?

(Ei, koska ei testattu esimerkiksi bakteeripitoisuutta tai arseenia.)

IV Koonti

Lopuksi tarkastellaan kaikkien näytteiden anionipitoisuuksia taulukosta

- Huomaatko jonkin näytteen poikkeavan selvästi muista?
- Mikä näyte on ionivaihdettua vettä?

(Nämä kysymykset on tarkoitus käydä läpi, mutta puuttuvat oppilaan ohjeesta)

- Erottuvatko näytteet selvästi toisistaan?
- Mitkä näytteistä ovat todennäköisesti samasta lähteestä?
- Mistä näytteet ovat peräisin? (Kukin ryhmä kertoo, mistä oma näyte on)

(Nämä ovat myös oppilaan ohjeessa)

Miten ionivaihdettu vesi eroaa hanavedestä?

Miksi astiat huuhdellaan Gadolinissa ionivaihdetulla vedellä?

Miksi ionivaihdettua vettä ei kuitenkaan käytetä juomavetenä?

(Vesi, josta puuttuvat suolat täysin, ei ole ideaalista juomavettä pitkäkestoisesti. Se voi aiheuttaa ongelmia esimerkiksi nestetasapainossa. Osa juomavedessä olevista ioneista on ihmiselle tarpeellisia hivenaineita. (Täysi) ionin vaihto juomavedelle olisi turhaa.)

Milloin vesi on kemiallisesti puhdas aine ja milloin seos?

Mallinnusohje

Kohderyhmä: Työ sopii parhaiten tehtäväksi lukion kursseilla KE1 ja KE2

Kesto: 30 min

Tavoite: Opiskelija oppii miten nestemäisen veden ja jään rakenteet eroavat toisistaan ja miten vesimolekyylit ja ionit suhtautuvat toisiinsa sekä miten vetysidokset ja veden poolisuus näkyvät siinä.

Kokeellinen työ muodostaa yhdessä mallinnuksen kanssa kokonaisuuden, jossa tavoitteena on, että opiskelija kertailee vedestä oppimaansa ja ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla.

Avainsanat: Vesi – ioni – vetysidos – ioni-dipolisidos – hydratoituminen – jäätyminen

Mitä vesi on?

Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?

- mitä atomeja, molekyylejä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Mallinna sen jälkeen vettä Spartan-ohjelmalla.


Pikaopas Spartaniin (lisää ohjeita harjoitusten jälkeen)

Aluksi



Valitse Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä
- Jos et jaksaisi lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyjä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna hydrogens. Pääset takaisin mallin rakennukseen valitsemalla 
- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa. Näin voit tehdä mallistasi kolmiulotteisemman.

Luo malli, joka kuvaa vettä. Jatka sen jälkeen harjoituksiin.

Harjoituksia

5. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellei lisää tai poista atomeja.

(Vesimolekyylit asettuvat niin, että niiden välillä on useampia vetysidoksia.)

6. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käännellä mallia samoin kuin Spartaniissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?

(Nestemäisen veden, mutta ei ihan täysin, sillä mallinnusohjelmassa molekyylit käyttäytyvät kuin olisivat tyhjiössä.)

7. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa kun vesimolekyylien joukkoon lisätään ioni?
Testaa eri ioneja.

(Vesimolekyylit negatiivisten ionien ympärillä kääntyvät vetypuoli ioniä vastaan, positiivisten ionien ympärillä taas happipuoli ioniä vastaan. Syynä tähän on vesimolekyylien poolisuus, joka aiheuttaa ionin ja molekyylin välille ioni-dipolisidoksen.)

8. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse ylemmästä oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään "water" ja paina Etsi/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvistä valikosta Pinnat → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käännellä molekyylä samoin kuin Spartanissa.

(Vesimolekyylin elektronitiheys on suurempi hapen puolella, joten vesimolekyylissä on hapen puolella positiivinen osittaisvaraus ja vetyjen puolella vastaavasti negatiivinen osittaisvaraus. Vesimolekyylä on siis poolinen molekyylä.)

Yksityiskohtaisempia ohjeita Spartanin käyttöön

Energian minimointi

Salaman kuva alareunassa. Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka edustaa paikallista tai globaalia energiaminimiä.

Vetysidokset

Löytyy Model-valikosta.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi. Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni.

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

(Ideana, että opiskelijat muistaisivat hydratoitumisen ilmiönä.)

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

(Ideana, että nähtyään jään rakenteen muodostumisen ja sen, miten vesimolekyylit asettuvat ionien ympärille opiskelijat osaisivat päätellä, että ionit joiden ympärille vesimolekyylien täytyy asettua, heikentävät rakennetta)

Pohdintaa: (Kysymysten tarkoitus auttaa opiskelijaa hahmottamaan, miten hyvin hän esimerkiksi hahmottaa kolmiulotteisesti ja että tietokonemalli on nimenomaan malli, eikä absoluuttinen totuus, mutta eivät ole tärkeitä kemian sisältöjen kannalta.)

- Eroaako tietokoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

(Esim. fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välinen sidos näkyy vetysidoksena.)

Liite 6: Toinen kehittämistuotos: oppilaan ja opettajan ohjeet

Oppilaan ohje kokeelliseen työhön

Mitä piilee talousvedessä?

Työ koostuu viidestä osasta, virittäytymisestä (I), taustatietoihin tutustumisesta (II), vesitutkimuksen suunnittelusta (III), ionikromatografian käytöstä ja tulosten tulkinnasta (IV) sekä koonnista (V). Aloita joko virittäytymisellä tai vesinäytteen syöttämisellä ionikromatografiin. Virittäytymisen sen jälkeen etene taustatietoihin ja vesitutkimukseen ja tule ionikromatografille, kun ohjaaja pyytää. Kysymyksiin ei tarvitse vastata kirjallisesti.

TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN KÄSITTELY

Suojatakki ja -lasit.

Nestemäiset jätteet hävitetään
viemäriin, mahdollisesti syntyvä
kiinteä jäte sekajätteisiin.

I Virittäytyminen: Mitä vesi sisältää?

Tarkastele vesinäytettä

9. Mitä näyte sisältää?
10. Uskotko näytteen veden olevan puhdasta?
11. Onko puhdas vesi sama asia kuin kemiallisesti puhdasta ainetta oleva vesi?
12. Voiko veden laadusta tehdä päätelmiä aistinvaraisesti?

II Taustatiedot

Miten veden laatua tutkitaan?

Juomaveden laatua voi tutkia erilaisin testein. Tässä työssä mitataan tiettyjen epäorgaanisten anionien (negatiivisten ionien) pitoisuus vesinäytteestä ionikromatografilla. Myös kationeja voisi tutkia samalla tavalla.

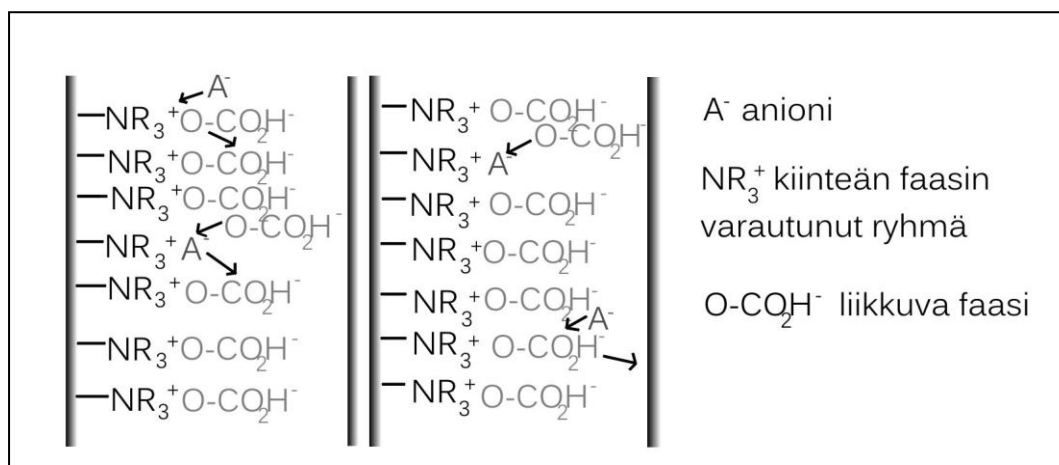
Kromatografia on analyysimenetelmä aineseoksessa olevien kemiallisesti samankaltaisten aineiden erottamiseen toisistaan ja tunnistamiseen. Erottaminen tapahtuu pääasiassa kahden eri faasin, kiinteän ja liikkuvan faasin, välillä.

Ionikromatografia on nestekromatografian sovellus, jossa erotetaan kationeja ja anioneja kolonneilla, joiden erotustapa perustuu ioninvaihtoon, ionipareihin ja ioniekskluusioon. Ionikromatografian tarkoitus on ionien erottaminen. Ionikromatografiassa kiinteä ja liikkuva faasi kilpailevat analysoitavasta ionista.

Ioninvaihto tarkoittaa liuoksessa olevien kationien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin kationeihin tai anionien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin anioneihin.

Anionien tutkiminen ionikromatografilla

Käyttämässämme laitteessa näyte pumpataan liikkuvan faasin kanssa kiinteänä faasina toimivan kolonnin läpi.



Anionit ja liikkuva faasi kulkevat kolonnin läpi sitoutuen vuorotellen sen varautuneisiin ryhmiin

Anionien erottuminen tapahtuu kolonnissa, kun liikkuva faasi ja näytteen anionit kilpailevat kiinteän faasin varautuneista paikoista. Anioni kulkee kolonnin läpi, kun sen ja kiinteän faasin välille vuoroin muodostuu ja vuoroin hajoaa sidoksia. Eri anionit kulkevat ioninvaihtokolonnin läpi eri ajassa

riippuen sidoksen vahvuudesta. Läpi kulkemiseen kuluva aika kutsutaan retentioajaksi. Laite vertaa retentioaikoja standardiliuokseen, jonka pitoisuudet tunnetaan.

Ionit tunnistetaan johtokykydetektorissa, joka mittaa liuoksen sähkönjohtokykyä. Sähkönjohtokyky kuvaa vain ionien pitoisuutta. Siitä ei voi päätellä, mikä ioni on kyseessä, vaan se määritetään retentioaikojen avulla.

Käyttämällämme standardiliuksella voi määrittää vesinäytteen **bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.**

Miksi kyseisten anionien pitoisuuksia juomavedessä kannattaa tutkia? Entä mitä muuta juomavedestä tutkitaan?

Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä

Arseeni As^{3+} : Korkea pitoisuus voi lisätä syöpäriskiä. Ei voi tunnistaa hajun tai maun perusteella. Esiintyy pääasiassa kallioporakaivoissa. *Enimmäismäärä 0,01 mg/l*

Bromidi Br^- : Ei sellaisenaan terveydelle haitallista. Vedenpuhdistuksen yhteydessä voi hapettua bromaatiksi. Suolaisessa vedessä on bromidia, joten sitä voi olla juomavedessä esimerkiksi, jos merivettä on sekoittunut kaivoveteen. *Ei enimmäismääräsuositusta*

Bromaatti BrO_3^- : Lisää syöpäriskiä. *Enimmäismäärä 0,01 mg/l*

Fluoridi F^- : Liika saanti aiheuttaa laikkuja hampaisiin ja haurastuttaa luita. Liiallinen saanti hampaiden muodostuksen aikana aiheuttaa hammaskiilteen muodostumishäiriön. Pienissä määrin ihmiselle välttämätön hivenaine. Ei näy eikä maistu vedessä. *Enimmäismäärä 1,5 mg/l*

Fosfaatti PO_4^{3-} : Voi lisätä pieneliöiden jälkikasvua vesijohtoverkostossa silloin, kun muita ravinteita on riittävästi vedessä. Voi joutua veteen runsaasti lannoitetusta maaperästä liuenneena tai jätevedestä. *Ei enimmäismääräsuositusta*

Kloridi Cl^- : Korkea pitoisuus voi aiheuttaa putkiston syöpymistä, jolloin veteen liukenee kuparia tai rautaa. Kloridipitoista vettä esiintyy vanhoilla merenpohja-alueilla sekä jätevesien ja tiesuolauksen seurauksena. Ei tunnettuja terveysvaikutuksia. *Suositeltu enimmäismäärä 100 mg/l, mutta syöpymisen ehkäisemiseksi <25 mg/l*

Kupari Cu^{2+} : Voi värjätä vaalean pyykin tai hiukset vihreiksi tai aiheuttaa vihreitä tahroja kylpyhuoneen kalusteisiin. Aiheuttaa karvasta makua. Suurina pitoisuuksina kuparisuolat voivat aiheuttaa maha-suolitulehduksen. Pienissä määrin ihmiselle välttämätön hivenaine. Liukenee usein vesijohtomateriaaleista. *Enimmäismäärä 2 mg/l*

Mangaani Mn^{2+} : Voi näkyä vedessä mustana sakkana, joka on usein öljymäistä ja haisee pahalle. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Liiallisena aiheuttaa pahaa makua. *Enimmäismäärä 0,1 mg/l, suositeltu enimmäismäärä 0,05 mg/l*

Nitraatti NO_3^- : Muuttuu nitriiteiksi ja syöpävaarallisiksi nitrosoamiineiksi. Terveysriskit kohdistuvat lähinnä pikkulapsiin, joten runsaasti nitraattia sisältävää vettä ei saa antaa raskaana oleville, pienille lapsille tai imettäville äideille. Ei näy eikä maistu vedessä. (Jos tulee kaivoveteen lannoitteen mukana keväisin, vesi voi maistua imelälle.) *Enimmäismäärä 50 mg/l*

Nitriitti NO_2^- : Muuttaa veren hemoglobiinia niin, että se ei pysty kuljettamaan happea soluille. Nitriitti on vaarallisinta imeväisikäisille lapsille. Myös nitriitti muuttuu nitrosoamiineiksi. Ei näy eikä maistu vedessä. *Enimmäismäärä 0,5 mg/l*

Rauta $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$: Värjää veden ruskeaksi. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Saattaa jättää ruskeita tahroja. Saa veden maistumaan ruosteelta. Ei ole vaarallista terveydelle. *Enimmäismäärä 0,4 mg/l, suositeltu enimmäismäärä 0,2 mg/l*

Sulfaatti SO_4^{2-} : Suurina annoksina laksatiivinen vaikutus eli stimuloi suolen toimintaa. Jatkuva saanti nostaa ärsytyskynnystä. Voi liittyä rikkivedyn esiintymiseen, jolloin vedessä ilmenee maku- ja hajuhaittoja. Muussa

tapauksessa ei. Sulfaattia esiintyy luonnostaan pohjavesissä. *Suosittelun enimmäismäärä 250 mg/l, mutta syöpymisen ehkäisemiseksi 150 mg/l*

Happamuus: Aiheuttaa putkien liukenemista, jolloin veteen voi liueta kuparia ja rautaa. Ei terveyshaittoja. *Tavoitetaso 6,5-9,5*

Lisäksi juomavedestä voidaan tutkia mm. bakteereita, radon, uraani, ammonium, sähkönjohtavuus, sameus, väriluku ja muita metalleja, kuten alumiini, elohopea ja lyijy.

III Vesitutkimuksen suunnittelu

Ionikromatografi mittaa kuuden ionin pitoisuuden. Mitä voit päätellä mahdollisista muista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä?

Miten voisit käsillä olevien keinojen avulla tutkia, sisältääkö vesinäyte joitakin muita listassa mainittuja ioneja? Entä muita veden laatuun vaikuttavia tekijöitä?

Käytä veden laatuun vaikuttavia tekijöitä apuna ja listaa asioita, joita vedestä voisi tutkia.

Jos aikaa riittää, suorita tutkimukset vesinäytteelle. Mitä suunnittelemasi tutkimuksen kertovat vesinäytteestä?

Vihje: Onko veden laatuun vaikuttavissa tekijöissä joitain aineita, joiden suuren määrän voi sulkea pois aistinvaraisilla testeillä? Entä aineita, joiden määrää vedessä ei pysty pääättelemään aistinvaraisesti?

IV Ionikromatografian tulokset

Käyttämällämme standardiliuoksella voi määrittää vesinäytteen bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.

Katso pitoisuudet yksiköllä ppm. 1 ppm = 1 mg/l

Kirjaa tulokset ylös ja käy tämän jälkeen merkitsemässä pitoisuudet taulukkoon luokan edessä olevalle tietokoneelle. Merkitse muistiin, mikä numero on oma näytteesi!

Pitäisikö tästä huolestua?

1. Ovatko tutkittujen anionien pitoisuudet enimmäismäärän alapuolella?
2. Uskotko vesinäytteen veden olevan turvallista juotavaksi?
3. Voisiko näiden tietojen ja suunnitellun vesitutkimuksen avulla julistaa minkä tahansa vesinäytteen juomakelpoiseksi?

V Koonti

Lopuksi tarkastellaan kaikkien näytteiden anionipitoisuuksia taulukosta

- Huomaatko jonkin näytteen poikkeavan selvästi muista?
- Ovatko jotkin näytteet hyvin samanlaisia?
- Miksi näytteissä on muitakin aineita kuin vettä?

Oppilaan ohje mallinnuksen yleisohjeeseen

Vettä mikrotasolla

Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?

- mitä atomeja, molekyyilejä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Pohdi kysymyksiä ja mallinna sen jälkeen vettä Spartan-ohjelmalla.


Pikaopas Spartaniin

Aluksi



Valitse Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä.
- Jos et jaksakaan lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna hydrogens. Pääset takasin mallin rakennukseen valitsemalla 
- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa.

Ioneja?

Ohjeet ionien luontiin löydät harjoituksen 3 alta

Luo malli, joka kuvaa vettä. Kun olet tyytyväinen malliin, jatka harjoituksiin. Voit täydentää mallia myös harjoitusten aikana.

Harjoituksia

1. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellet lisää tai poista atomeja.

Vetysidokset löytyvät Model-valikosta (englanniksi hydrogen bonds). Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka edustaa paikallista tai globaalia energiainimiä. Energian minimointi tapahtuu painamalla salaman kuvaa alareunassa.

2. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käänellä mallia samoin kuin Spartanissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?
3. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa kun vesimolekyylien joukkoon lisätään ioni?
Testaa eri ioneja. HUOM. Vaikutus näkyy selvemmin, jos vesimolekyyli-ioni-suhde on selvästi vesimolekyylien suuntaan. Voit myös tarvittaessa laittaa vetysidokset pois näkyvistä.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi vesimolekyylien joukkoon. (Ei vesimolekyyliin. Vältä kovalenttisten sidosten päitä) Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni. Moniatomisia ioneja voi havainnollistaa luomalla ionin rakennetta mahdollisimman hyvin vastaavan rakenteen ja poistamalla ylimääräiset sidokset. Harjoitus voi toimia paremmin yksiatomisilla ioneilla.

HUOM. Vetysidos on joidenkin ionien kohdalla poikkeus tähän sääntöön. Miksi ohjelma näyttää vetysidoksen virheellisesti juuri näille ioneille?

4. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse molekyylin alla olevasta oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään "water" ja paina Etsi!/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvästä valikosta Pinnat (tai Surfaces) → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käänellä molekyyliä samoin kuin Spartanissa.

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

Pohdintaa:

- Eroaako tiekoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

Oppilaan ohje mallinnuksen ohjeen kokeellisen työn jälkeen tehtäväksi tarkoitettuun versioon

Tämä ohje on tarkoitettu ”Mitä piilee talousvedessä?” –työn jälkeen tehtäväksi.

Vettä mikrotasolla

Miltä vesinäyte näyttää mikrotasolla?

- mitä atomeja, molekyyilejä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Pohdi kysymyksiä ja mallinna sen jälkeen näytettä Spartan-ohjelmalla.

Pikaopas Spartaniin

Aluksi



Valitse Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä.
- Jos et jaksata lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmlälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna

hydrogens. Pääset takasin mallin rakennukseen valitsemalla



- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa.

Ioneja?

Ohjeet ionien luontiin löydät harjoituksen 3 alta

Luo malli, joka kuvaa vettä. Kun olet tyytyväinen malliin, jatka harjoituksiin. Voit täydentää mallia myös harjoitusten aikana.

Harjoituksia

5. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellet lisää tai poista atomeja.

Vetysidokset löytyvät Model-valikosta (englanniksi hydrogen bonds). Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka

edustaa paikallista tai globaalia energiaminimiä. Energian minimointi tapahtuu painamalla salaman kuvaa alareunassa.

6. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käänellä mallia samoin kuin Spartanissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?
7. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa vesimolekyylien ja ionien välillä? Testaa eri ioneja. HUOM. Vaikutus näkyy selvemmin, jos vesimolekyyli-ioni-suhde on selvästi vesimolekyylien suuntaan. Voit myös tarvittaessa laittaa vetysidokset pois näkyvistä.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi vesimolekyylien joukkoon. (Mutta ei vesimolekyyliin. Vältä kovalenttisten sidosten päitä.) Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni. Moniatomisia ioneja voi havainnollistaa luomalla ionin rakennetta mahdollisimman hyvin vastaavan rakenteen ja poistamalla ylimääräiset sidokset. Harjoitus voi toimia paremmin yksiatomisilla ioneilla.

HUOM. Vetysidos on joidenkin ionien kohdalla poikkeus tähän sääntöön. Miksi ohjelma näyttää vetysidoksen virheellisesti juuri näille ioneille?

8. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse molekyylin alla olevasta oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään "water" ja paina Etsi!/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvistä valikosta Pinnat (tai Surfaces) → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käänellä molekyylä samoin kuin Spartanissa.

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

Pohdintaa:

- Eroaako tiekoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Mitä näytteessä olevia asioita ei pystynyt mallintamaan ohjelmalla?
- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

Opettajan ohje kokeelliseen työhön

Tämä työohjeen versio on suunniteltu työpistetyöskentelyyn

Mitä piilee talousvedessä?

Kohderyhmä: Työ sopii parhaiten tehtäväksi lukion kursseilla KE1 ja KE2

Kesto: yksi ryhmä työpisteellä 25-30 min (+ yhteinen koonti 5-10 min)

Tavoite: Työn tavoitteena on oppia veden laatuun vaikuttavista ioneista ja miten niiden pitoisuuksia voidaan mitata ionikromatografialla. Työssä on tarkoitus oppia myös muista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä ja ymmärtää, että arjessa kohtaamamme vesi on oikeastaan homogeeninen seos. ”Mitä piilee talousvedessä?” ja ”Vettä mikrotasolla” muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jossa tavoitteena on, että opiskelija kertaa ja laajentaa tietojaan vedestä.

Avainsanat: Ionikromatografia – Ioni – Pitoisuus – Kvantitatiivinen analyysi – Veden laatu – Puhdas aine ja seos – Arkipäivän kemia

Työ koostuu viidestä osasta, virittäytymisestä (I), taustatietoihin tutustumisesta (II), vesitutkimuksen suunnittelusta (III), ionikromatografin käytöstä ja tulosten tulkinnasta (IV) sekä koonnista (V). Aloita joko virittäytymisellä tai vesinäytteen syöttämisellä ionikromatografiin. Virittäytymisen sen jälkeen etene taustatietoihin ja vesitutkimukseen ja tule ionikromatografille, kun ohjaaja pyytää. Kysymyksiin ei tarvitse vastata kirjallisesti.

**TYÖTURVALLISUUS JA JÄTTEIDEN
KÄSITTELY**

Suojatakki ja –lasit.

Nestemäiset jätteet hävitetään
viemäriin, mahdollisesti syntyvä
kiinteä jäte sekajätteisiin.

I Virittäytyminen: Mitä vesi sisältää?

Tarkastele vesinäytettä

13. Mitä näyte sisältää?
14. Uskotko näytteen veden olevan puhdasta?
15. Onko puhdas vesi sama asia kuin kemiallisesti puhdasta ainetta oleva vesi?
16. Voiko veden laadusta tehdä päätelmiä aistinvaraisesti?

II Taustatiedot

Miten veden laatua tutkitaan?

Juomaveden laatua voi tutkia erilaisin testein. Tässä työssä mitataan tiettyjen epäorgaanisten anionien (negatiivisten ionien) pitoisuus vesinäytteestä ionikromatografilla. Myös kationeja voisi tutkia samalla tavalla.

Kromatografia on analyysimenetelmä ainesseoksessa olevien kemiallisesti samankaltaisten aineiden erottamiseen toisistaan ja tunnistamiseen. Erottaminen tapahtuu pääasiassa kahden eri faasin, kiinteän ja liikkuvan faasin, välillä.

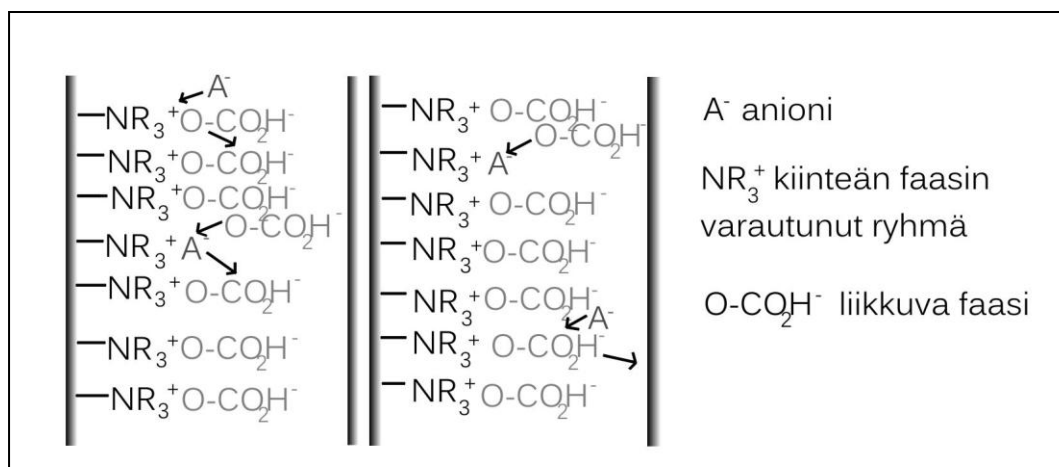
Ionikromatografia on nestekromatografian sovellus, jossa erotetaan kationeja ja anioneja kolonneilla, joiden erotustapa perustuu ioninvaihtoon, ionipareihin ja ioniekskluusioon. Ionikromatografian tarkoitus on ionien erottaminen.

Ionikromatografiassa kiinteä ja liikkuva faasi kilpailevat analysoitavasta ionista.

Ioninvaihto tarkoittaa liuoksessa olevien kationien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin kationeihin tai anionien vaihtoa kiinteän faasin sisältämiin anioneihin.

Anionien tutkiminen ionikromatografilla

Käyttämässämme laitteessa näyte pumpataan liikkuvan faasin kanssa kiinteänä faasina toimivan kolonnin läpi.



Anionit ja liikkuva faasi kulkevat kolonnin läpi sitoutuen vuorotellen sen varautuneisiin ryhmiin

Anionien erottuminen tapahtuu kolonnissa, kun liikkuva faasi ja näytteen anionit kilpailevat kiinteän faasin varautuneista paikoista. Anioni kulkee kolonnin läpi, kun sen ja kiinteän faasin välille vuoroin muodostuu ja vuoroin hajoaa sidoksia. Eri anionit kulkevat ioninvaihtokolonnin läpi eri ajassa riippuen sidoksen vahvuudesta. Läpi kulkemiseen kuluvaa aikaa kutsutaan retentioajaksi. Laite vertaa retentioaikoja standardiliuokseen, jonka pitoisuudet tunnetaan.

Ionit tunnistetaan johtokykydetektorissa, joka mittaa liuoksen sähkönjohtokykyä. Sähkönjohtokyky kuvaa vain ionien pitoisuutta. Siitä ei voi päätellä, mikä ioni on kyseessä, vaan se määritetään retentioaikojen avulla.

Käyttämälläme standardiliuoksella voi määrittää vesinäytteen **bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.**

Miksi kyseisten anionien pitoisuuksia juomavedessä kannattaa tutkia? Entä mitä muuta juomavedestä tutkitaan?

Veden laatuun vaikuttavia tekijöitä

Arseeni As^{3+} : Korkea pitoisuus voi lisätä syöpäriskiä. Ei voi tunnistaa hajun tai maun perusteella. Esiintyy pääasiassa kallioporakaivoissa. *Enimmäismäärä 0,01 mg/l*

Bromidi Br^- : Ei sellaisenaan terveydelle haitallista. Vedenpuhdistuksen yhteydessä voi hapettua bromaatiksi. Suolaisessa vedessä on bromidia, joten sitä voi olla juomavedessä esimerkiksi, jos merivettä on sekoittunut kaivoveteen. *Ei enimmäismääräsuositusta*

Bromaatti BrO_3^- : Lisää syöpäriskiä. *Enimmäismäärä 0,01 mg/l*

Fluoridi F^- : Liika saanti aiheuttaa laikkuja hampaisiin ja haurastuttaa luita. Liiallinen saanti hampaiden muodostuksen aikana aiheuttaa hammaskiilteen muodostumishäiriön. Pienissä määrin ihmiselle välttämätön hivenaine. Ei näy eikä maistu vedessä. *Enimmäismäärä 1,5 mg/l*

Fosfaatti PO_4^{3-} : Voi lisätä pieneliöiden jälkikasvua vesijohtoverkostossa silloin, kun muita ravinteita on riittävästi vedessä. Voi joutua veteen runsaasti lannoitetusta maaperästä liuenneena tai jätevedestä. *Ei enimmäismääräsuositusta*

Kloridi Cl^- : Korkea pitoisuus voi aiheuttaa putkiston syöpymistä, jolloin veteen liukenee kuparia tai rautaa. Kloridipitoista vettä esiintyy vanhoilla merenpohja-alueilla sekä jätevesien ja tiesuolauksen seurauksena. Ei tunnettuja terveysvaikutuksia. *Suositeltu enimmäismäärä 100 mg/l, mutta syöpymisen ehkäisemiseksi <25 mg/l*

Kupari Cu^{2+} : Voi värjätä vaalean pyykin tai hiukset vihreiksi tai aiheuttaa vihreitä tahroja kylpyhuoneen kalusteisiin. Aiheuttaa karvasta makua. Suurina

pitoisuuksina kuparisuolat voivat aiheuttaa maha-suolitulehduksen. Pienissä määrin ihmiselle välttämätön hivenaine. Liukenee usein vesijohtomateriaaleista. *Enimmäismäärä 2 mg/l*

Mangaani Mn^{2+} : Voi näkyä vedessä mustana sakkana, joka on usein öljymäistä ja haisee pahalle. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Liiallisena aiheuttaa pahaa makua. *Enimmäismäärä 0,1 mg/l, suositeltu enimmäismäärä 0,05 mg/l*

Nitraatti NO_3^- : Muuttuu nitriiteiksi ja syöpävaarallisiksi nitrosoamiineiksi. Terveysriskit kohdistuvat lähinnä pikkulapsiin, joten runsaasti nitraattia sisältävää vettä ei saa antaa raskaana oleville, pienille lapsille tai imettäville äideille. Ei näy eikä maistu vedessä. (Jos tulee kaivoveteen lannoitteen mukana keväisin, vesi voi maistua imelälle.) *Enimmäismäärä 50 mg/l*

Nitriitti NO_2^- : Muuttaa veren hemoglobiinia niin, että se ei pysty kuljettamaan happea soluille. Nitriitti on vaarallisinta imeväisikäisille lapsille. Myös nitriitti muuttuu nitrosoamiineiksi. Ei näy eikä maistu vedessä. *Enimmäismäärä 0,5 mg/l*

Rauta Fe^{2+}/Fe^{3+} : Värjää veden ruskeaksi. Voi myös muodostaa veden pinnalle vaalean tai monivärisen kalvon, joka hajoaa koskettaessa. Saattaa jättää ruskeita tahroja. Saa veden maistumaan ruosteelta. Ei ole vaarallista terveydelle. *Enimmäismäärä 0,4 mg/l, suositeltu enimmäismäärä 0,2 mg/l*

Sulfaatti SO_4^{2-} : Suurina annoksina laksatiivinen vaikutus eli stimuloi suolen toimintaa. Jatkuva saanti nostaa ärsytyskynnystä. Voi liittyä rikkivedyn esiintymiseen, jolloin vedessä ilmenee maku- ja hajuhaittoja. Muussa tapauksessa ei. Sulfaattia esiintyy luonnostaan pohjavesissä. *Suosittelua enimmäismäärä 250 mg/l, mutta syöpymisen ehkäisemiseksi 150 mg/l*

Happamuus: Aiheuttaa putkien liukenemista, jolloin veteen voi liueta kuparia ja rautaa. Ei terveyshaittoja. *Tavoitetaso 6,5-9,5*

Lisäksi juomavedestä voidaan tutkia mm. bakteereita, radon, uraani, ammonium, sähkönjohtavuus, sameus, väriluku ja muita metalleja, kuten alumiini, elohopea ja lyijy.

III Vesitutkimuksen suunnittelu

Ionikromatografi mittaa kuuden ionin pitoisuuden. Mitä voit päätellä mahdollisista muista veden laatuun vaikuttavista tekijöistä?

Miten voisit käsillä olevien keinojen avulla tutkia, sisältääkö vesinäyte joitakin muita listassa mainittuja ioneja? Entä muita veden laatuun vaikuttavia tekijöitä?

Käytä veden laatuun vaikuttavia tekijöitä apuna ja suunnittele tutkimus./Listaa veden laatuun vaikuttavien tekijöiden avulla asioita, joita vesinäytteestä voisi tutkia./Käytä veden laatuun vaikuttavia tekijöitä apuna ja listaa asioita, joita vedestä voisi tutkia.

Jos aikaa riittää, suorita tutkimukset vesinäytteelle. Mitä suunnittelemasi tutkimuksen kertovat vesinäytteestä?

Taustatietojen perusteella pitäisi siis löytää kriteereiksi esim. väri, sameus, maku, haju, erottuuko sakkaa tai kalvoa, tahraavuus, pH

Vihje: Onko veden laatuun vaikuttavissa tekijöissä joitain aineita, joiden suuren määrän voi sulkea pois aistinvaraisilla testeillä? Entä aineita, joiden määrää vedessä ei pysty pääättelemään aistinvaraisesti?

IV Ionikromatografian tulokset

Käyttämällämme standardiliuoksella voi määrittää vesinäytteen bromidi-, fluoridi-, fosfaatti-, kloridi-, nitraatti- ja sulfaattipitoisuuden.

Katso pitoisuudet yksiköllä ppm. $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l}$

Kirjaa tulokset ylös ja käy tämän jälkeen merkitsemässä pitoisuudet taulukkoon luokan edessä olevalle tietokoneelle. Merkitse muistiin, mikä numero on oma näytteesi!

Pitäisikö tästä huolestua?

1. Ovatko tutkittujen anionien pitoisuudet enimmäismäärän alapuolella?

(Jos anionien pitoisuudet ovat annettujen enimmäismäärien alapuolella, niistä ei tarvitse huolestua. On tärkeää välttää opiskelijoiden reaktiota, että vesi on likaista, jos siinä on muitakin aineita kuin vettä.)

2. Uskotko vesinäytteen veden olevan turvallista juotavaksi?
3. Voisiko näiden tietojen ja suunnitellun vesitutkimuksen avulla julistaa minkä tahansa vesinäytteen juomakelpoiseksi?

(Ei, koska ei testattu esimerkiksi bakteeripitoisuutta tai arseenia.)

V Koonti

Lopuksi tarkastellaan kaikkien näytteiden anionipitoisuuksia taulukosta

- Huomaatko jonkin näytteen poikkeavan selvästi muista?
- Ovatko jotkin näytteet hyvin samanlaisia?
- Miksi näytteissä on muitakin aineita kuin vettä?

Opettajan ohje mallinnuksen yleisohjeeseen

Kohderyhmä: Työ sopii parhaiten tehtäväksi lukion kursseilla KE1 ja KE2

Kesto: 30 min

Tavoite: Opiskelija oppii miten nestemäisen veden ja jään rakenteet eroavat toisistaan ja miten vesimolekyylit ja ionit suhtautuvat toisiinsa sekä miten vetysidokset ja veden poolisuus näkyvät siinä. Lisäksi tavoitteena on ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla. ”Mitä piilee talousvedessä?” ja ”Vettä mikrotasolla” muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jossa tavoitteena on, että opiskelija kertaa ja laajentaa tietojaan vedestä.

Avainsanat: Vesi – ioni – vetysidos – ioni-dipolisidos – hydratoituminen – jäätyminen

Vettä mikrotasolla

Miltä vesijohtovesi näyttää mikrotasolla?

- mitä atomeja, molekyyliä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Pohdi kysymyksiä ja mallinna sen jälkeen vettä Spartan-ohjelmalla.

Pikaopas Spartaniin

Aluksi



Valitse Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä.
- Jos et jaksata lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna

hydrogens. Pääset takaisin mallin rakennukseen valitsemalla



- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa.

Ioneja?

Ohjeet ionien luontiin löydät harjoituksen 3 alta

Luo malli, joka kuvaa vettä. Kun olet tyytyväinen malliin, jatka harjoituksiin. Voit täydentää mallia myös harjoitusten aikana.

Harjoituksia

9. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellet lisää tai poista atomeja.

Vetysidokset löytyvät Model-valikosta (englanniksi hydrogen bonds). Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka edustaa paikallista tai globaalia energiaminimiä. Energian minimointi tapahtuu painamalla salaman kuvaa alareunassa.

(Vesimolekyylit asettuvat niin, että niiden välillä on useampia vetysidoksia.)

10. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käänellä mallia samoin kuin Spartanissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?

(Nestemäisen veden, mutta ei ihan täysin, sillä mallinnusohjelmassa molekyylit käyttäytyvät kuin olisivat tyhjiössä.)

11. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa kun vesimolekyylien joukkoon lisätään ioni? Testaa eri ioneja. HUOM. Vaikutus näkyy selvemmin, jos vesimolekyyli-ioni-suhde on selvästi vesimolekyylien suuntaan. Voit myös tarvittaessa laittaa vetysidokset pois näkyvistä.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi vesimolekyylien joukkoon. (Ei vesimolekyyliin. Vältä kovalenttisten sidosten päitä) Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni. Moniatomisia ioneja voi havainnollistaa luomalla ionin rakennetta mahdollisimman hyvin vastaavan rakenteen ja poistamalla ylimääräiset sidokset. Harjoitus voi toimia paremmin yksiatomisilla ioneilla.

HUOM. Vetysidos on joidenkin ionien kohdalla poikkeus tähän sääntöön. Miksi ohjelma näyttää vetysidoksen virheellisesti juuri näille ioneille?

(Vesimolekyylit negatiivisten ionien ympärillä kääntyvät vetypuoli ionia vastaan, positiivisten ionien ympärillä taas happipuoli ionia vastaan. Syynä tähän on vesimolekyylien poolisuus, joka aiheuttaa ionin ja molekyylin välille ioni-dipolisidoksen.

Fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välinen sidos näkyy ohjelmassa vetysidoksena, samoin sidos moniatomisten ionien hapen ja vesimolekyylin välillä. Tämä johtuu siitä, että ohjelma näyttää automaattisesti sidokset vedyn ja hapen, typen tai fluorin välillä vetysidoksena. Vesimolekyylien ja ionien välillä on kuitenkin ioni-dipolisidos, joka on vetysidosta vahvempi.)

12. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse molekyylin alla olevasta oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään "water" ja paina Etsi!/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvästä valikosta Pinnat (tai Surfaces) → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käänellä molekyylia samoin kuin Spartanissa.

(Vesimolekyylin elektronitiheys on suurempi hapen puolella, joten vesimolekyylissä on hapen puolella positiivinen osittaisvaraus ja vetyjen puolella vastaavasti negatiivinen osittaisvaraus. Vesimolekyyli on siis poolinen molekyyli.)

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

(Ideana, että opiskelijat muistaisivat hydratoitumisen ilmiönä.)

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

(Ideana, että nähtyään jään rakenteen muodostumisen ja sen, miten vesimolekyylit asettuvat ionien ympärille opiskelijat osaisivat päätellä, että ionit joiden ympärille vesimolekyylien täytyy asettua, heikentävät rakennetta)

Pohdintaa: (Kysymysten tarkoitus auttaa opiskelijaa hahmottamaan, miten hyvin hän esimerkiksi hahmottaa kolmiulotteisesti ja että tietokonemalli on nimenomaan malli, eikä absoluuttinen totuus, mutta eivät ole tärkeitä kemian sisältöjen kannalta.)

- Eroaako tiekoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

(Ohjelma näyttää aina vetysidoksen vedyn ja hapen, fluorin tai typen välillä. Siksi esimerkiksi fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välinen sidos näkyy vetysidoksena, samoin kuin sulfaatti- nitraatti- ja fosfaatti-ionien happien ja vesimolekyylien välinen sidos.

Atomien ja ”ionien” suhteelliset koot eivät vastaa esimerkiksi MAOL:n taulukkokirjassa esitettyjä)

Opettajan ohje mallinnuksen ohjeen kokeellisen työn jälkeen tehtäväksi tarkoitettuun versioon

Tämä ohje on tarkoitettu ”Mitä piilee talousvedessä?” –työn jälkeen tehtäväksi.

Kohderyhmä: Työ sopii parhaiten tehtäväksi lukion kursseilla KE1 ja KE2

Kesto: 30 min

Tavoite: Opiskelija oppii miten nestemäisen veden ja jään rakenteet eroavat toisistaan ja miten vesimolekyylit ja ionit suhtautuvat toisiinsa sekä miten vetysidokset ja veden poolisuus näkyvät siinä. Lisäksi tavoitteena on ymmärtää, miten veden mikrotason ilmiöt vaikuttavat siihen, miten vesi käyttäytyy makrotasolla. ”Mitä piilee talousvedessä?” ja ”Vettä mikrotasolla” muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jossa tavoitteena on, että opiskelija kertaa ja laajentaa tietojaan vedestä.

Avainsanat: Vesi – ioni – vetysidos – ioni-dipolisidos – hydratoituminen – jäätyminen

Vettä mikrotasolla

Miltä vesinäyte näyttää mikrotasolla?


- mitä atomeja, molekyyliä tai ioneja on läsnä?
- mitä sidoksia niiden välillä on?
- miten ne ovat sijoittuneet toistensa suhteen?

Pohdi kysymyksiä ja mallinna sen jälkeen näytettä Spartan-ohjelmalla.

Pikaopas Spartaniin


Aluksi



Valitse  Nyt voit valita haluamasi atomin oikeaan reunaan ilmestyvästä valikosta. Jos haluat deletoida, valitse pyyhekumi alareunasta. HUOM. yhden deletoinnin jälkeen ohjelma palaa automaattisesti rakentamistilaan. Model-valikosta voit muokata mallin ominaisuuksia.

Vinkkejä

- Kun lisäät atomin, joka ei ole osa aikaisempaa molekyyliä, paina samaan aikaan insert-näppäintä.
- Jos et jaksa lisätä jokaiseen vesimolekyyliin vetyjä erikseen, voit jättää ne pelkiksi hapiksi, joista lähtee kaksi yksinkertaista sidosta. Tällöin saat vedyt näkyviin, kun valitset view (silmälasien kuva) ja model-valikossa on valittuna

hydrogens. Pääset takasin mallin rakennukseen valitsemalla 

- Voit kääntää mallia liikuttamalla hiirtä vasen painike pohjassa.

Ioneja?

Ohjeet ionien luontiin löydät harjoituksen 3 alta

Luo malli, joka kuvaa vettä. Kun olet tyytyväinen malliin, jatka harjoituksiin. Voit täydentää mallia myös harjoitusten aikana.

Harjoituksia

13. Merkitse vetysidokset näkyviin ja minimoi energia. Mitä tapahtuu vesimolekyylien välillä? HUOM. Jos olet jo minimoinut energian, ei tapahdu mitään, ellet lisää tai poista atomeja.

Vetysidokset löytyvät Model-valikosta (englanniksi hydrogen bonds). Energian minimoinnissa laskennallinen malli pyrkii löytämään atomeille järjestyksen, joka edustaa paikallista tai globaalia energiaminimiä. Energian minimointi tapahtuu painamalla salaman kuvaa alareunassa.

(Vesimolekyylit asettuvat niin, että niiden välillä on useampia vetysidoksia.)

14. Tutki mallia sulamisesta ja jäätymisestä. <http://biomodel.uah.es/en/water/p3.htm>
Voit käänellä mallia samoin kuin Spartanissa. Muistuttaako Spartaniin syntynyt rakenne enemmän jään vai nestemäisen veden rakennetta?

(Nestemäisen veden, mutta ei ihan täysin, sillä mallinnusohjelmassa molekyylit käyttäytyvät kuin olisivat tyhjiössä.)

15. Mitä tapahtuu energian minimoinnissa vesimolekyylien ja ionien välillä? Testaa eri ioneja. HUOM. Vaikutus näkyy selvemmin, jos vesimolekyyli-ioni-suhde on selvästi vesimolekyylien suuntaan. Voit myös tarvittaessa laittaa vetysidokset pois näkyvistä.

Miten luoda ioneja?

Lisää haluamasi atomi vesimolekyylien joukkoon. (Mutta ei vesimolekyyliin. Vältä kovalenttisten sidosten päitä.) Deletoi sidokset. (Epäorgaanisessa valikossa pääset helpommalla, jos valitset vaihtoehdon, jossa on vain yksi sidos.) Atomi toimii nyt mallintamisen puitteissa samoin kuin ioni. Moniatomisia ioneja voi havainnollistaa luomalla ionin rakennetta mahdollisimman hyvin vastaavan rakenteen ja poistamalla ylimääräiset sidokset. Harjoitus voi toimia paremmin yksiatomisilla ioneilla.

HUOM. Vetysidos on joidenkin ionien kohdalla poikkeus tähän sääntöön. Miksi ohjelma näyttää vetysidoksen virheellisesti juuri näille ioneille?

(Vesimolekyylit negatiivisten ionien ympärillä kääntyvät vetypuoli ionia vastaan, positiivisten ionien ympärillä taas happipuoli ionia vastaan. Syynä tähän on vesimolekyylien poolisuus, joka aiheuttaa ionin ja molekyylin välille ioni-dipolisidoksen.

Fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välinen sidos näkyy ohjelmassa vetysidoksena, samoin sidos moniatomisten ionien hapen ja vesimolekyylin välillä. Tämä johtuu siitä, että ohjelma näyttää automaattisesti sidokset vedyn ja hapen, typen tai fluorin välillä vetysidoksena. Vesimolekyylien ja ionien välillä on kuitenkin ioni-dipolisidos, joka on vetysidosta vahvempi.)

16. Miksi näin tapahtuu? Tarkastele vesimolekyylin elektrostaattista potentiaalia (eli elektronitiheyttä).

Mene sivulle www.edumol.fi. Valitse molekyylin alla olevasta oikeanpuoleisesta valikosta PubChem. Kirjoita sitten hakukenttään "water" ja paina Etsi!/Aja. Vesimolekyylin ilmestyttyä näkyviin paina hiiren oikeaa painiketta ja valitse näkyviin ilmestyvästä valikosta Pinnat (tai Surfaces) → Molecular Electrostatic Potential. (Voit valita kumman tahansa.) Punainen tarkoittaa paljon elektroneja, sininen vähän. Voit käänellä molekyylia samoin kuin Spartanissa.

(Vesimolekyylin elektronitiheys on suurempi hapen puolella, joten vesimolekyylissä on hapen puolella positiivinen osittaisvaraus ja vetyjen puolella vastaavasti negatiivinen osittaisvaraus. Vesimolekyyli on siis poolinen molekyyli.)

Osaatko selittää harjoitusten perusteella...

Miksi suola näyttää katoavan, kun se sekoitetaan veteen?

(Ideana, että opiskelijat muistaisivat hydratoitumisen ilmiönä.)

Miksi suolavesi jäätyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin makea vesi?

(Ideana, että nähtyään jään rakenteen muodostumisen ja sen, miten vesimolekyylit asettuvat ionien ympärille opiskelijat osaisivat päätellä, että ionit joiden ympärille vesimolekyylien täytyy asettua, heikentävät rakennetta)

Pohdintaa: (Kysymysten tarkoitus auttaa opiskelijaa hahmottamaan, miten hyvin hän esimerkiksi hahmottaa kolmiulotteisesti ja että tietokonemalli on nimenomaan malli, eikä absoluuttinen totuus, mutta eivät ole tärkeitä kemian sisältöjen kannalta.)

- Eroaako tiekoneella tekemäsi malli mallista, jonka kuvittelit ennen sen tekemistä?
- Kuinka lähellä totuutta ohjelman avulla luomasi malli on? Miten se vastaisi todellisuutta paremmin?
- Mitä näytteessä olevia asioita ei pystynyt mallintamaan ohjelmalla?

(Moniatomiset ionit eivät välttämättä toimi)

- Huomasitko ohjelmassa jotain, mikä ei vastaa tietoja, joita sinulla on kemiasta?

(Ohjelma näyttää aina vetysidoksen vedyn ja hapen, fluorin tai typen välillä. Siksi esimerkiksi fluoridi-ionin ja vesimolekyylin välinen sidos näkyy vetysidoksena, samoin kuin sulfaatti- nitraatti- ja fosfaatti-ionien happien ja vesimolekyylien välinen sidos.

Atomien ja "ionien" suhteelliset koot eivät vastaa esimerkiksi MAOL:n taulukkokirjassa esitettyjä